السمكة داخلك

رحلة في تاريخ الجسم البشري

نيل شوبين

ترجمة:
حسن أحمد غزلان



نبذة عن المترجم:

ولد في السابع عشر من نوفمبر عام 1987، في بلدة حوارة في محافظة إربد، المملكة الأردنية الهاشمية. حاصل على شهادتي البكالوريوس والماجستير في تخصص الإنتاج الحيواني من جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية. ويعمل فيها حالياً مشرف مختبر فسيولوجيا الحيوان والتلقيح الاصطناعي. شارك في عدة أبحاث ودراسات على حيوانات المزرعة، وله اهتمامات بعلوم الحيوان، ووظائف الأعضاء في الكائنات الحية المختلفة.

نبذة عن المؤلف:

ولد في 22 ديسمبر 1960، وهو أحد علماء المستحاثات، ممن يدرسون أصول التطور للكائنات الحية. يعمل شوبين الحاصل على درجة الدكتوراه في علم أحياء العضيّات أستاذاً لعلم الأحياء والتشريح بجامعة شيكاغو، إضافة إلى اختصاصه بالتشريح المقارن، وعمله في مجال علم المستحاثات. يدير شوبين أيضاً المتحف الحقلي للعلوم الطبيعية في شيكاغو، وهو أحد الباحثين الثلاثة، الذين كان لهم سبق اكتشاف إحدى الحلقات المهمة في سلسلة التطور، والربط بين الكائنات الحية في الماء بالحيوانات، التي تعيش على اليابسة. وتركز دراساته بشكل عام على محاولة فهم نشوء السمات التشريحية للكائنات الحية، ولاسيما الحيوانات، ومدى ارتباطها ببعضها بعضاً.

كتب أعلام وقادة الفكر العربي والعالمي
لمتابعة الكتب التي نصورها ونرفعها لأول مرة
على الروابط التالية

نيل شوبين

السمكة داخلك

رحلة في تاريخ الجسم البشري

ترجمة: حسن أحمد غزلان

مراجعة: د. أحمد خريس

الطبعة الأولى 1433هـ 2012م
حقوق الطبع محفوظة

QM26 .S5812 2011
Shubin, Neil.
[Your inner fish]
السمكة داخلك / تأليف نيل شوبين؛ ترجمة حسن أحمد غزلان؛ مراجعة أحمد خريس.- أبوظبي: هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة، كلمة، 2011.
ص 319 : 13×20.5 سم.
ترجمة كتاب: Your inner fish : a journey into the 3.5-billion-year history of the human body
تدمك: 978-9948-01-952-7
1 - التشريح. 2 - التشريح - تاريخ. 3 - جسم الإنسان - تشريح.
أ-غزلان، حسن أحمد. ب-خريس، أحمد.

يتضمن هذا الكتاب ترجمة الأصل الإنجليزي:
Neil Shubin
Your Inner Fish: A Journey into the 3.5-Billion-Year History of the Human Body



www.kalima.ae

ص.ب: 2380 أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة، هاتف: 451 6515 2 971+ فاكس: 127 6433 2 971+



السمكة داخلك

رحلة في تاريخ الجسم البشري ·

المحتويات

تمهيد

لقد تمخض هذا الكتاب عن ظروف استثنائية في حياتي. فعلى صعيد العمل التدريسي، انتهى بي المطاف منسقاً لمساق التشريح البشري في كلية الطب في جامعة شيكاغو. والتشريح هو المساق الذي يشرّح فيه طلاب السنة الأولى في الطب جثثاً بشرية، وهم يتعلمون أسماء معظم الأعضاء والتجاويف والأعصاب والأوعية في الجسم وتنظيمها. وهذا هو مدخلهم الرئيسي إلى عالم الطب، فهو خبرة تشكيلية في طريقهم ليصبحوا أطباء. من الوهلة الأولى، لا يمكنك أن تتخيّل مرشحاً أسوأ منيّ لمهنة تدريب جيل قادم من الأطباء: فأنا عالم مستحاثات أمضى معظم حياته يعمل على الأسماك.

لقد اتضح أن كون المرء عالماً إحاثياً، له فائدة عظيمة في تدريس تشريح الإنسان. لماذا؟ لأن خرائط الطريق الرئيسية لجسم الإنسان تمتد في أجسام الحيوانات الأخرى. وأبسط طريقة لتعليم الطلاب أعصاب الرأس في الإنسان، هي أن تريهم الأعصاب المشابهة في أسماك القرش. وأبسط الطرق إلى أطراف البشر موجودة في الأسماك. وتعدّ الزواحف مصدر فائدة بحق؛ لتبيان تركيب الدماغ أيضاً. والسبب وراء ذلك كله، هو أن أجسام هذه المخلوقات عادة ما تكون نسخاً مبسطة من أجسامنا نحن البشر.

كنت أعمل في القطب الشمالي، خلال صيف السنة الثانية من تدريسي المساق، وقد اكتشفت، وزملائي أحفورة لسمكة أعطتنا بصيرة جديدة قوية على اجتياح اليابسة من جانب الأسماك قبل ما يزيد على 375 مليون سنة. إن ذلك الاكتشاف وغزوي لتدريس تشريح الإنسان، قاداني إلى استكشاف صلة سحيقة. وقد أضحى ذلك الاكتشاف هذا الكتاب الذي بين يديك.

السمكة داخلك

الفصل الأول

إيجاد السمكة داخلك

أقضي أيام الصيف المعتادة من حياتي كرجل بالغ، في الثلج، وطبقات الجليد الرقيقة، أكسر الصخور على المنحدرات في شمال الدائرة القطبية الشمالية. أتجمد معظم الأوقات، وأصاب بالبثور، ولا أجد شيئاً أبداً. ولكن إذا كنت محظوظاً فإنني، أجد عظام أسماك قديمة. قد لا يبدو ذلك ككنز مدفون بالنسبة لمعظم الناس، ولكنه بالنسبة لي أغلى من الذهب.

عظام الأسماك القديمة يمكن أن تشكل طريقاً لمعرفة ما نحن عليه، وكيف أصبحنا بهذا الشكل. إننا نتعلم أشياء عن أجسامنا في مواقع غريبة حقاً، من أحافير الديدان والأسماك التي يعثر عليها في أنحاء العالم، إلى الحمض النووي الموجود في كل حيوان حي على سطح البسيطة في هذا الزمان. ولكن ذلك لا يوضح سبب ثقتي في أنّ بقايا هيكل عظمي من الماضي - وبقايا سمكة فحسب - توفر قرائن حول أساس تركيب أجسامنا.

كيف يمكننا أن نرى الأحداث التي حصلت قبل ملايين، وحتى مليارات السنين؟ لسوء الحظ لم يكن هناك شهود عيان، ولم يكن أي منا هناك. في الواقع، لم يكن هناك أي شيء يتكلم أو له فم، أو حتى رأس في معظم ذلك الوقت. والأسوأ من ذلك أنّ الحيوانات التي وجدت

حينها ميتة، ودفنت لفترات طويلة جداً، نادراً ما نجد أجسامها محفوظة. وإذا فكرت أن أكثر من 99 بالمئة من الأجناس كلها، التي عاشت على هذه البسيطة منذ البدء قد انقرضت، وأن جزءاً بسيطاً جداً منها محفوظ بوصفها مستحاثات، وأن نسبة ضئيلة منها حتى قد تم اكتشافها فقط، فإن أية محاولة للنظر في ماضينا تبدو خائبة منذ البدء.

الحفر في الأحافير رؤية أنفسنا

رأيت واحدة من أسماكنا الداخلية في يوم مثلج من أيام تموز، بينما كنت أدرس صخوراً عمرها 375 مليون سنة في جزيرة إلزمير، على دائرة العرض حوالي 80 درجة شمالاً. ارتحلنا أنا وزملائي إلى هذا الجزء المنعزل من العالم؛ لمحاولة اكتشاف إحدى المراحل الأساسية في الانتقال من الأسماك إلى الحيوانات، التي تعيش على اليابسة. كان هناك خطم سمكة ناتئ من الصخور. لم تكن هذه أية سمكة، إنما سمكة برأس مسطح. وما إن رأينا الرأس المسطح، عرفنا أننا حيال أمر ما. إذا وجدنا المزيد من هذا الهيكل العظمي داخل المنحدر، فسوف يكشف عن المراحل الأولى لتطور جمجمتنا، و رقبتنا، وحتى أطرافنا.

ما الذي يخبرنا به رأس مسطح حول الانتقال من البحر إلى اليابسة؟ إن كانت المسألة تتعلق بأماني وراحتي، لمَ أنا في القطب المتجمد الشمالي وليس في هاواي؟ إن الإجابة عن هذه الأسئلة، تكمن في قصة كيفية إيجادنا للمستحاثات، وكيف نستخدمها لفك ألغاز ماضينا؟

المستحاثات، هي إحدى خيوط الأدلة الرئيسية التي نستخدمها لفهم أنفسنا (الجينات والأجنة، هي خيوط أخرى، وسوف أناقشها لاحقاً). فمعظم الناس لا يعلمون أن إيجاد مستحاثات، هو أمر يمكننا غالباً فعله بدقة عالية، ويمنحنا قدرة جمة على التنبؤ. نحن نعمل في المنزل؛ لنزيد فرص نجاحنا على أرض الواقع. ثم ندع الحظ يقدم ما لديه.

إن أفضل وصف للعلاقة المتناقضة بين التخطيط والاحتمال، هو ما ورد بتعليق دوايت إيزنهاور الشهير حول الحرب: «في التخطيط للمعركة، وجدت أن التخطيط ضروري، ولكن الخطط بلا فائدة». وهذا يصف علم المستحاثات بشكل دقيق. فنحن نعد جميع أنواع الخطط؛ لنصل إلى مواقع مستحاثات واعدة، ولكن عندما نصل إلى هناك، قد نلقي بالخطة الحقيبية من النافذة. إن الحقائق على أرض الواقع يمكن أن تغير خططنا، التي وضعناها بتمعن. ورغم ذلك، يمكننا أن نصمم رحلات استكشافية؛ للإجابة عن أسئلة علمية. باستخدام بعض الأفكار البسيطة، التي سوف أتحدث عنها لاحقاً، ويمكننا أن نخمن أين يمكن أن نجد مستحاثات هامة. نحن، طبعا، لا نحقق نجاحات تامة طوال الوقت، ولكننا نصيب في أغلب الأحيان بما يكفي؛ لنضفي على الأمر جواً من الإثارة. لقد حققت لنفسي مهنة بفعلي ذلك فقط: إيجاد ثدييات من الحقب الغابرة؛ للإجابة عن أسئلة حول أصول الثدييات، والضفادع الأولى؛ للإجابة عن أسئلة حول أصول الضفادع، وبعض أوائل الحيوانات ذات الأطراف؛ لفهم أصول الحيوانات التي تعيش على اليابسة.

إن علماء المستحاثات العاملين في الحقل، يواجهون صعوبة أقل هذه الأيام في إيجاد مواقع جديدة مما كان عليه الأمر سابقاً. فنحن نعرف المزيد عن جيولوجية المناطق المحلية، بفضل الاستكشاف الجيولوجي، الذي أخذت الحكومات المحلية، وشركات التنقيب عن البترول والغاز على عاتقها القيام به. إن الإنترنت يقدم لنا وصولا سريعاً للخرائط، ومعلومات المسوح، والصور الجوية. ويمكنني حتى أن أقوم بمسح لفنائنا الخلفي بحثاً عن مواقع مستحاثات واعدة، عن طريق حاسبي المحمول فقط. وفوق هذا كله، فإن أجهزة التصوير والتصوير بالأشعة، يمكنها أن تخترق بعض أنواع الصخور، وتمكننا من رؤية العظام داخلها.

وعلى الرغم من هذا التقدم، فإن تصيد المستحاثات المهمة لا يختلف كثيراً عما كان عليه قبل مئة عام مضت. فلا يزال علماء المستحاثات بحاجة للنظر في الصخور - حرفياً أن يزحفوا فوقها - ويجب أن تزال المستحاثة من داخلها باليد غالباً، لذلك يجب اتخاذ العديد من القرارات عند التنقيب عن عظام أحفورية وإزالتها؛ لأنه يصعب أتمتة هذه العمليات. هذا إضافة إلى أن النظر في شاشة مرقاب؛ لإيجاد مستحاثات لن يبلغ حد المرح، الذي يجلبه الحفر بحثاً عنها.

إن ما يجعل من هذا الأمر عقبة، هو ندرة مواقع المستحاثات. ومن أجل زيادة فرصنا في النجاح، نبحث عن توفر ثلاثة شروط: نبحث عن أماكن تحتوي على صخور بالعمر المناسب، وصخور من النوع المناسب، وصخور مكشوفة على السطح. وهناك عامل آخر أيضاً: الحظ. وهذا ما سأعرضه بأمثلة.

سيظهر مثالنا أحد أعظم الانتقالات في تاريخ الحياة: غزو الأسماك لليابسة. لقد اقتصرت الحياة لمليارات السنين على العيش في الماء. ثم- قبل حوالي 365 مليون سنة خلت- سكنت الكائنات اليابسة أيضاً. إن التنفس في الماء يتطلب أعضاء تختلف جداً عمّا يتطلبه التنفس في الهواء. والأمر سيان فيما يتعلق بالإخراج، والتغذية، والتنقل. لذا فلا بد من نشوء نوع كامل جديد من الأجسام. وللوهلة الأولى، يبدو الفصل بين هاتين البيئتين [المائية واليابسة] لا يمكن تجسيره. ولكن كل شيء يتغير عند النظر إلى الدليل، إنّ ما يبدو مستحيلاً قد حدث فعلاً.

وفي بحثنا عن صخور من عمر مناسب، كان إلى جانبنا حقيقة لافتة: أنّ المستحاثات في الصخور حول العالم لا تتوزع عشوائياً. إن مكان وجودها، وما يقبع داخلها، منظم بشكل أكيد، ويمكننا أن نستخدم الانتظام هذا؛ لتصميم بعثاتنا الاستكشافية. لقد تركت مليارات السنين من التغير طبقات بعضها فوق بعض من أنواع الصخور المختلفة في الأرض. إن الافتراض الصحيح، الذي يسهل اختباره، هو أن الصخور في الأعلى أصغر عمراً منها في الأسفل؛ وهذا عادة ما هي عليه الحال في المناطق، التي تحتوي ترتيباً طبقياً مباشراً (كما هي الحال في غراند كانيون (Grand Canyon)، ولكن حركات القشرة الأرضية يمكن أن تسبب اختلافاً؛ وتحرف موضع تلك الطبقات، ومعرفتنا لمواقع هذه الاختلافات، تمكننا عادة من جمع التسلسل الأصلي للطبقات معاً.

تتبع المستحاثات داخل هذه الصخور تسلسلاً أيضاً، حيث تحتوي الطبقات السفلى على أجناس تختلف تماماً عن تلك الموجودة في

الطبقات العلوية. وإذا أمكننا أن نقتطع عموداً واحداً من الصخور، التي تحتوي على التاريخ الكامل للحياة، فسوف نجد مجموعة مذهلة من المستحاثات. إن الطبقات الدنيا لن تحتوي إلا على أدلة قليلة جداً على الحياة، وستحتوي الطبقات فوقها على طبقات من مجموعة متنوعة من أشياء تشبه قنديل البحر. أما الطبقات العلوية، فسوف تحتوي على مخلوقات لها هياكل عظمية، وزوائد، وأعضاء متنوعة كالأعين. وفوق هذه كلها سوف نجد أول حيوانات لها عمود فقري، وهكذا. والطبقة الأولى التي قد نجد فيها أناساً لا تزال أعلى من ذلك. وطبعاً لا وجود لعمود واحد يحتوي تاريخ الأرض ذلك كله. ولكن الصخور في كل موقع على وجه الكرة الأرضية، تمثل جزءاً بسيطاً من الزمن فقط. وللحصول على تصور شامل، علينا أن نجمع هذه الأجزاء معاً؛ لمقارنة الصخور، والمستحاثات داخلها، تماماً كما نجمع لعبة ضخمة؛ لتجميع قطع صورة ما.

إن وجود عمود من الصخور، يتضمن تطور الأجناس المتسحاثة ليس أمراً مثيراً للدهشة. ولكن الأقل وضوحاً من ذلك، هو أنه بإمكاننا التنبؤ بشكل مفصل حول أيّ الأجناس الموجودة ضمن كل واحدة من تلك الطبقات لا تزال حية في عصرنا هذا، وهذه المعلومات تساعدنا على التنبؤ بنوع المستحاثات، التي سنجدها في طبقات الصخور القديمة. في الحقيقة، يمكن التنبؤ بتسلسل المستحاثات في صخور العالم، بمقارنة أنفسنا مع حيوانات في حديقة الحيوان، أو حيوانات في حوض الأسماك.

كيف يمكن لجولة في حديقة الحيوانات، مساعدتنا على التنبؤ بالمكان، الذي يجب البحث فيه في الصخور؛ لإيجاد مستحاثات هامة؟ تقدم حديقة الحيوان مجموعة متنوعة جداً من المخلوقات، التي تمتاز كل واحدة منها بطرق عدة. لكن دعونا لا نركز على ما يجعلها متمايزة؛ لنستنبط تنبؤنا، علينا التركيز على ما تشترك به المخلوقات المختلفة. يمكننا أن نستخدم ما هو مشترك بين الأجناس جميعها؛ لتحديد مجموعات المخلوقات التي لها السمات نفسها. ويمكن ترتيب الكائنات الحية جميعها، وتنظيمها كمجموعة من الألعاب الروسية المعششة، حيث تنخرط مجموعات أصغر من الحيوانات في مجموعات أكبر. عندما نفعل ذلك، سنكتشف شيئاً أساسياً حول الطبيعة.

فكل جنس في حديقة الحيوان، وحوض الأسماك له رأس وعينان. لنطلق على هذه اسم «كل الأشياء» سوف نجد مجموعة جزئية من هذه المخلوقات لها رأس، وعينان، ولها أطراف أيضاً. لنطلق على هذه الأخيرة اسم «كل الأشياء مع أطراف»، وسوف نجد أيضاً مجموعة جزئية من هذه الكائنات ذات الرأس، والأطراف لها دماغ كبير، وتمشي على قدمين، وتتكلم. هذه المجموعة الجزئية هي نحن البشر. يمكننا طبعاً أن نستخدم هذه الطريقة؛ لتصنيف الأشياء في سبيل إنتاج مجموعات جزئية أكثر بكثير، ولكن حتى هذا التقسيم الثلاثي له قدرة تنبؤية.

إن المستحاثات داخل صخور العالم تتبع هذا الترتيب بشكل عام، ويمكننا أن نستخدمه في أثناء تصميم بعثاتنا الاستكشافية. ولاستخدام المثال أعلاه، فإن أول عضو من المجموعة «كل شيء»، هو مخلوق

له رأس وعينان، موجودة في سجل المستحاثات قبل «كل شيء مع أطراف». وعلى وجه أدق، فإن السمكة الأولى (وهي عضو من بين مجموعة «كل شيء») تظهر قبل أول البرمائيات («كل شيء مع أطراف»). وواضح هنا، أننا نقوم بتصفية هذا بالنظر إلى أنواع أكثر من الحيوانات، وخصائص أكثر بكثير تشترك فيها بعضها، إضافة إلى تقييم العمر الحقيقي للصخور نفسها.

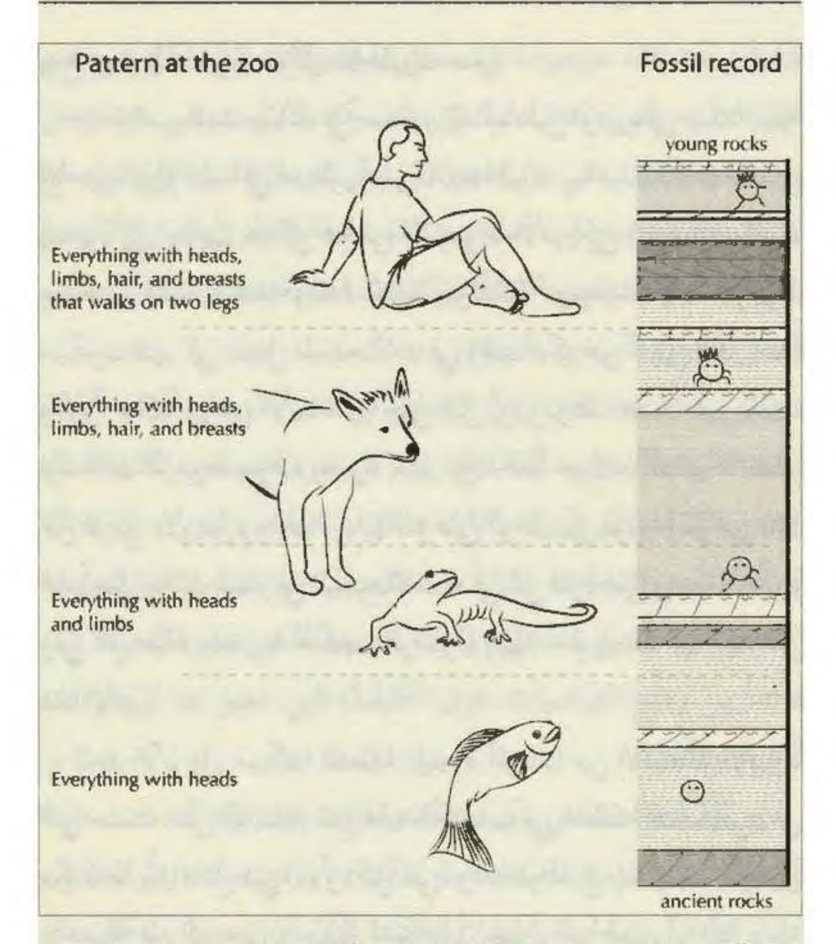
نقوم تماماً بهذا النوع من التحليل في مختبراتنا، على آلاف آلاف الخصائص والأجناس. إننا ننظر إلى كل جزء تشريحي يمكننا النظر إليه، وغالباً ما ننظر إلى مجموعات هائلة من الحمض النووي. إنّ هناك كماً هائلاً من البيانات، وغالباً ما نحتاج إلى حواسيب فائقة؛ لتبين لنا المجموعات ضمن بعضها. هذا التوجه يعد أساس علم الأحياء؛ لأنه يمكّننا من وضع الفرضيات حول الكيفية، التي تتصل بها المخلوقات أحدها بالآخر.

إضافة لمساعدتنا في تكرار التصنيفات الحية، فقد أنشأت مئات السنوات من جمع المستحاثات مكتبة، أو فهرساً هائلاً للعصور على الأرض، والحياة عليها. ويمكننا الآن أن نحدد بشكل عام الفترات الزمنية، التي ضمت أحداثاً رئيسية. هل أنت من المهتمين بنشوء الثدييات؟ اذهب إلى الصخور من الفترة المسماة بالميسوزونية (Mesozonic)؛ تخبرنا الكيمياء الجغرافية أن هذه الصخور ستكون بعمر يقارب 210 ملايين سنة. هل أنت مهتم بنشأة البدائيات (Primates)؟ اصعد في عمود الصخور إلى الفترة الطباشيرية، حيث

يبلغ عمر الصخور حوالي 80 مليون سنة.

إن تراتب المستحاثات في صخور العالم، دليل قوي على صلتنا ببقية الأحياء. إذا وجدنا في صخور عمرها 600 مليون سنة مستحاثات لقنديل البحر، إلى جانب هيكل عظمي للمرموط الأمريكي (woodchuck)، سيتحتم علينا عندها إعادة كتابة مؤلفاتنا جميعها؛ لأن المرموط سيكون ظهر في سجل المستحاثات في وقت أبكر من أوائل الثدييات، والزواحف، وحتى الأسماك، حتى قبل أول دودة. فضلاً عن ذلك، فإن ذلك المرموط سوف يخبرنا بقدر من الخطأ حول ما نعتقد أننا نعلم عن تاريخ الأرض، والحياة عليها. وعلى الرغم من مرور أكثر من 150 عاماً على بحث البشر في المستحاثات - في كل قارة على وجه الأرض، وفي كل طبقة صخرية أمكنهم الوصول إليها - لم يلحظ أي أحد مثل هذا الأمر.

لنعد الآن إلى مسألتنا المتعلقة بإيجاد أقربائنا من الأسماك الأولى، التي مشت على اليابسة. تقع هذه الكائنات في مخططنا التجميعي، في مكان ما بين «كل شيء»، و«كل شيء وله أطراف». إذا أضفنا هذا إلى ما نعرفه عن الصخور، سينتج لدينا دليل جيولوجي قوي أن الفترة من 380 مليون، إلى 365 مليون سنة خلت كانت فترة حرجة. إن الصخور الأقل عمراً في تلك الفترة، التي يبلغ عمرها 365 مليون سنة، تتضمن أشكالاً متنوعة من الحيوانات، التي يمكننا جميعاً، أن نتعرف عليها على أنها برمائيات، أو زواحف. لقد كشفت زميلتي جيني كلاك (Jenny Clack) من جامعة كامبردج وغيرها، برمائيات من الصخور في جرين



إن ما نكتشفه خلال نزهتنا في حديقة الحيوان، يعكس كيفية وجود المستحاثات في الصخور

لاند (Greenland) عمرها يقارب 365 مليون سنة. هذه البرمائيات، برقابها، وآذانها، وأرجلها الأربع، لا تبدو كأسماك. ولكن في الصخور التي بلغ عمرها ما يقارب 385 مليون سنة، وجدنا سمكة كاملة تشبه

كثيراً السمك. لقد كان لها زعانف، ورؤوس مخروطية، وحراشف؛ وليس لها رقاب. وبناء على هذا، لا يثير دهشة أحد إن نحن ركزنا في بحثنا على صخور، يبلغ عمرها 375 مليون سنة؛ لنجد دليلاً على الفترة الانتقالية بين الأسماك، والحيوانات التي تعيش على اليابسة.

لقد اتفقنا على فترة زمنية للبحث، وبناء عليه قمنا بتحديد الطبقات الجيولوجية، التي نرغب ببحثها. والتحدي الآن هو، إيجاد الصخور التي تشكلت تحت ظروف قادرة على الاحتفاظ بالمستحاثات. إن الصخور من البيئات المختلفة، وتلك الأوضاع الأولية، تترك تواقيع مميزة على الطبقات الصخرية، يستثنى من هذا الصخور البركانية. إذاً لا توجد أسماك نعرفها يمكنها العيش في الحمم البركانية. وحتى لو وجدت مثل تلك السمكة، فإن عظامها المستحاثة لن تنجو من الظروف شديدة الحرارة، التي تكون بها صخور البازلت، والريولايت، والغرانيت، وغيرها من الصخور البركانية. ويمكننا أيضاً أن نتجاهل الصخور المتحولة: كالشست (Schist)، والرخام (Marble)؛ لأنها قد تعرضت إلى تسخين هائل، أو ضغوط كبيرة منذ تشكلت أول مرة؛ لذلك فمهما كانت المستحاثات التي تشكلت فيها، فإنها بلا شك قد اختفت منذ أمد بعيد. إن الصخور المثالية للاحتفاظ بالمستحاثات، هي الصخور الرسوبية التي تتضمن: الصخور الجيرية، والصخور الرملية، وصخور الطمي، والصخور السجيلية (Shales). ومقارنة بالصخور البركانية والصخور المتحولة، تتشكل الصخور الرسوبية بعمليات أكثر سلاسة؛ بفعل الأنهار، والبحيرات، والبحار. ولا يقتصر الأمر

على تفضيل الحيوانات للعيش في مثل هذه البيئات، بل إن العمليات الترسيبية تجعل من هذه الصخور أماكن أفضل، لحفظ المستحاثات؛ ففي محيط أو بحيرة، مثلاً، تستقر الدقائق الموجودة في الماء، وتترسب في القاع. ومع مرور الزمن، وتراكم هذه الدقائق، تبدأ بالانضغاط بسبب تراكم طبقات أخرى فوقها. إن الضغط التدريجي مع العمليات الكيميائية، التي تحصل داخل الصخور لفترات زمنية طويلة، يعني أن أية هياكل عظمية موجودة في الصخور، ستجد فرصة جيدة للتحجر. كما تحدث عمليات مشابهة في الجداول، وجوارها. والقاعدة العامة هنا هي: أنه كلما كان تدفق النهر، أو الجدول أكثر سلاسة، كلما حُفظت المستحاثات بشكل أفضل.

فكل صخرة على وجه الأرض لها قصة، قصة ما كان عليه العالم في حين كانت تلك الصخرة تتشكل؛ وداخل الصخرة، هناك دليل على المناخات، والعوامل المحيطة الغابرة، التي عادة ما تكون مختلفة إلى حد كبير عما هي اليوم. أحياناً يكون الانفصال بين الحاضر، والماضي أكثر حدة. لنأخذ مثالاً شديد التطرف: جبل إيفرست، الذي تقبع إلى جانب قمته على ارتفاع خمسة أميال صخور من قاع البحر القديم. ثم لنتوجه إلى السفح الشمالي تقريباً في المنطقة المرئية من درجة هيلاري (Hillary Step) الشهيرة، يمكننا أن نجد قناديل بحر متحجرة. وبالمثل، حيث نعمل في القطب المتجمد الشمالي، تصل درجات الحرارة إلى 40 درجة فهرنهايتية تحت الصفر. ورغم ذلك، فإن داخل بعض صخور المنطقة بواقي دلتا استوائية قديمة، تشبه الأمازون: نباتات وأسماك

متحجرة،ربما كانت تعيش في المناطق الدافئة الرطبة فقط. إن وجود أجناس متكيفة مع البيئة الدافئة على ارتفاعات شاهقة، وخطوط عرض قصوى يشهد على مقدار تغير كوكبنا: تعلو الجبال، وتنهدم، وتحتر المناخات وتبرد، وتنتقل القارات من مكان لآخر. وبإدراكنا فحسب، ضخامة الزمن والتغيرات الخارقة، التي مر بها كوكبنا، نصبح قادرين على توظيف هذه المعلومات في تصميم رحلات استكشافية؛ للبحث عن المستحاثات.

إذا كنا مهتمين بنشأة الحيوانات ذات الأطراف، يمكننا الآن أن نحدد نطاق بحثنا بالصخور، التي يبلغ عمرها 375 مليون إلى 380 مليون سنة تقريباً، التي تشكلت في المحيطات، أو البحيرات، أو الجداول. وباستبعاد الصخور البركانية، والصخور المتحولة، تصبح صورتنا للبحث عن مواقع واعدة وأكثر تركيزاً.

ورغم هذا، فنحن الآن لسنا إلا على أول الطريق؛ لتصميم بعثة استكشافية جديدة. وإنْ كانت الصخور الرسوبية الواعدة مدفونة عميقاً في الأرض، أو مغطاة بالأعشاب، أو الأسواق التجارية، أو المدن، فإن ذلك لا يقدم لنا أي عون، سنكون كمن يحفر وهو أعمى. يمكنك تخيل الأمر. إن حفر بئر، لإيجاد مستحاثة ما، يقدم احتمالاً ضئيلاً بالنجاح، وهو أشبه برمي السهام على لوحة مخبأة خلف باب الخزانة.

إن أفضل الأماكن للبحث، هي تلك التي يمكننا المشي فيها لأميال فوق الصخور؛ لاكتشاف المناطق التي تتكشف فيها العظام بسبب

العوامل الجوية. وعادة ما تكون عظام المستحاثات أصلب من الصخور حولها؛ لذلك فإنها تتآكل بمعدل أبطأ، وتظهر كشكل مرتفع على سطح الصخرة. وبناء عليه، فإننا نحب أن نمشي فوق الأرض الصخرية العارية؛ لنجد بعض العظام المتناثرة على السطح، ثم نبدأ بالحفر.

إذاً فالطريقة المثلى لتصميم بعثة استكشافية تتطلب في البداية: إيجاد صخور من العمر المناسب، ومن النوع المناسب (رسوبية)، ومكشوفة جيداً. إن المواقع المثالية للبحث عن المستحاثات تحتوي على غطاء قليل من التراب، والقليل من النباتات، ولا تكون معرضة كثيراً للتشويه من قبل البشر. فهل يعدّ اكتشاف نسبة كبيرة من الاكتشافات في مناطق صحراوية مفاجأة؟ في صحراء غوبي (Gobi Desert)، والصحراء الكبرى (Sahara)، ويوتاه (Utah)، وفي صحارى القارة المتجمدة الشمالية، مثل غرينلاند (Greenland).

يبدو هذا كله منطقياً، ولكن علينا أن لا ننسى حسن الحظ. وفي الواقع، إن الحظ هو الذي وضع فريقنا على طريق الوصول إلى سمكتنا الداخلية. لم يحدث اكتشافنا الأول المهم في الصحراء، ولكن على جانب الطريق في أواسط بنسلفانيا (Central Pennsylvania)، حيث كان التعرض أسوأ ما يمكن. وفضلاً عن ذلك كله، لم نكن نبحث هناك إلا لأننا لم نكن نملك كثيراً من المال.

إن الذهاب إلى غرينلاند، أو الصحراء الكبرى، يستنفد كثيراً من الوقت والمال، بينما لا يتطلب المشروع المحلي منحاً بحثية كبيرة، ويقتصر فقط على تكاليف الوقود وأجور المرور. وهذه متغيرات حرجة

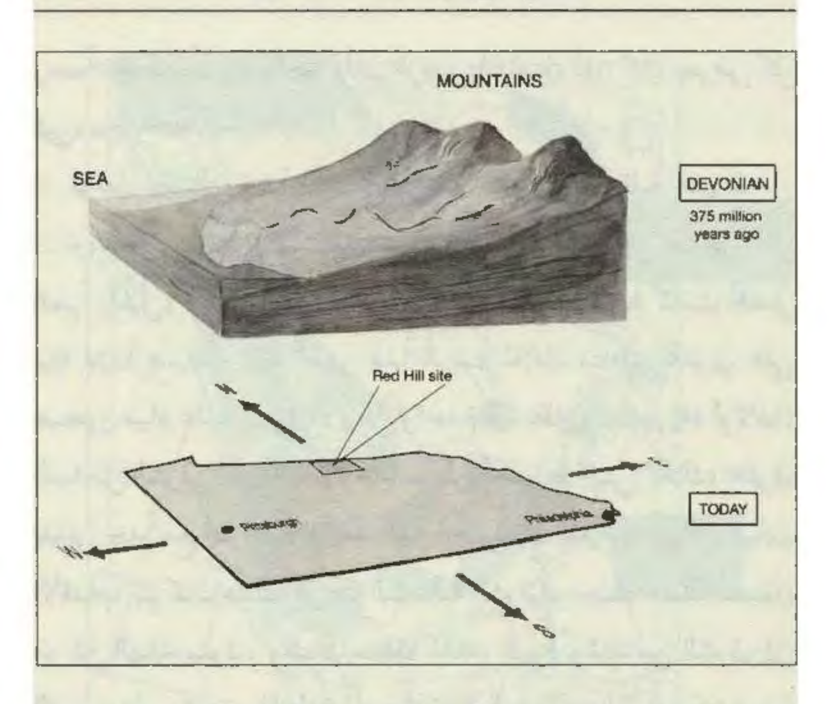
بالنسبة لطالب خريج يافع، أو مدرس جامعي حديث التعيين. عندما بدأت أول وظيفة لي في فيلادلفيا (Philadelphia)، كان ما استدرجنا هو مجموعة من الصخور تعرف باسم تشكيل كاتسكل (Catskill) [مقتل الهر] في بنسلفانيا. هذه التشكيلات الصخرية كانت قد درست بشكل مكثف طوال 150 عاماً. لقد كان عمرها معروفاً جيداً، وقد كانت من أواخر العصر الديفوني (Late Devonian). وإضافة إلى ذلك، فقد كانت صخورها مثالية لحفظ أوائل الحيوانات ذات الأطراف وأقاربها المقربين. ولفهم ذلك، من الأفضل أن يكون لدينا صورة عمّا كانت عليه فيلادلفيا في العصر الديفوني. أزل صورة فيلادلفيا أو بيتسبرغ أو هاريسبرغ اليوم من ذهنك، وفكر في دلتا نهر الأمازون. لقد كان هناك مرتفعات في الجزء الشرقي من الولاية. وقامت سلسلة من الجداول الجارية من الشرق للغرب، بتصريف مياه هذه الجبال، منتهية في البحر الواسع حيث تقع بيتسبرغ اليوم.

من الصعب تخيل ظروف أفضل لإيجاد المستحاثات، عدا أن وسط بنسلفانيا مكسو الآن بالمدن والغابات والحقول. أما بالنسبة للأماكن المكتشفة، فقد كانت حيث قررت وزارة المواصلات في بنسلفانيا فتح شوارع كبيرة. عندما تقوم وزارة المواصلات في بنسلفانيا ببناء طريق سريع، فهي تفجر مسار الطريق. وعندما تفجر، تكشف الصخور. وهذا الكشف لا يكون دائماً الكشف الأفضل، ولكننا نأخذ ما يمكننا أخذه. مع العلم الرخيص، تحصل فقط على ما تدفع مقابله.

كما كان هناك حظ أيضاً من نوع آخر: ففي عام 1993، وصل تيد

ديشلر (Ted Daeschler) علم المستحاثات تحت إشرافي. وقد كانت هذه الرفقة، هي ما سيغير حياة كلينا. إنّ مزاجاتنا المختلفة كانت متوافقة بشكل ممتاز: أنا كنت مستعجلاً جداً، وكنت دائماً أفكر في المكان التالي للبحث، بينما كان تيد صبوراً، ويعرف متى يستقر على موقع؛ ليقوم بالتنقيب به عن ثرواته. بدأنا- أنا وتيد- بمسح الصخور الديفونية في بنسلفانيا؛ على أمل إيجاد دليل جديد على أصول الأطراف. وقد بدأنا بالقيادة تقريباً إلى كل شق طريق كبير في الجزء الشرقي من الولاية. ومما أثار دهشتنا- بعد قليل فقط من بداية مسحنا-أن تيد وجد عظمة كتف رائعة، سمينا صاحب تلك الكتف هاينربيتون (Hynerpeton)، وهي كلمة إغريقية معناها «الحيوان الزاحف الصغير من هاينر (Hyner)». وهاينر في بنسلفانيا، هي أقرب بلدة للموقع. لقد امتلك الهاينربيتون كتفاً قوية جداً، مما دل على أن هذا المخلوق كانت له على الأرجح أطراف قوية. ولكن لسوء الحظ، لم نتمكن من إيجاد الهيكل العظمي كاملاً لهذا الحيوان. لقد كانت المناطق المكشوفة محدودة جداً. ويمكنك أن تخمن ذلك: النباتات، والمنازل، ومجمعات التسوق. فعلى طول الطرق في بنسلفانيا، كنا ننظر إلى دلتا لنهر قديم، شبيه جداً بالأمازون اليوم.

وبعد اكتشاف الهاينربيتون، ومستحاثات أخرى من هذه الصخور، كنا نتسابق؛ لإيجاد صخور مكشوفة بشكل أفضل. إذا كان عملنا العلمي كله سيكون مبنياً على استخراج القطع، والبقايا القليلة، فسيكون بإمكاننا فقط تناول أسئلة محدودة جداً. لذلك اتخذنا منحى نظامياً، باحثين عن صخور مكشوفة بشكل جيد من العمر، والنوع



ولاية بنسلفانيا اليوم (أسفل الصورة) مع الطبوغرافيا الدينوفية مرسومة فوقها

المناسبين في المناطق الصحراوية، مما عنى أنه لم يكن لنا أن نحقق أكبر اكتشاف لنا لولا كتاب مقدمة في الجيولوجيا.

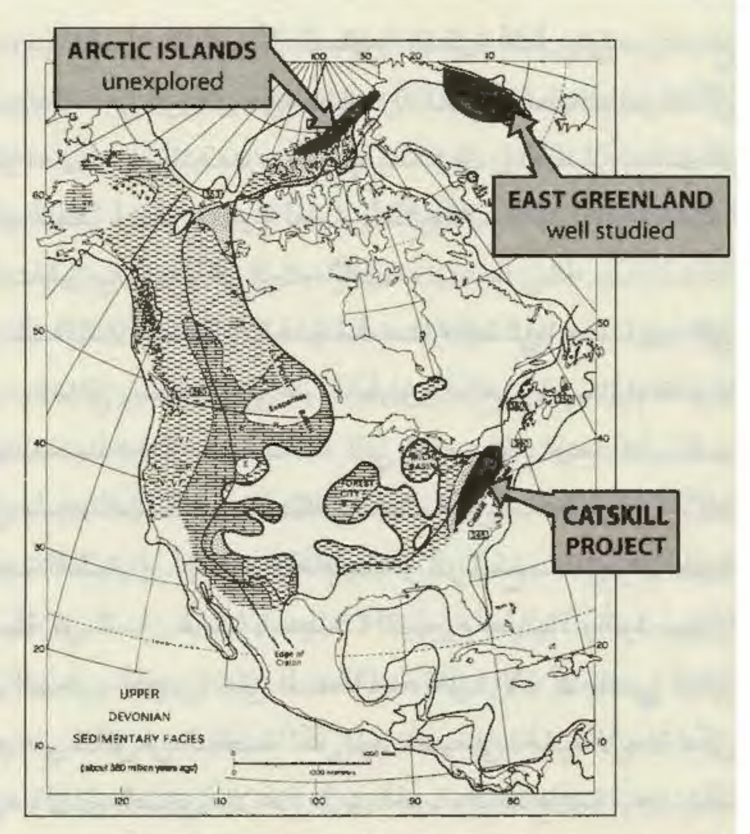
وقد كنا نبحث أصلاً في ألاسكا (Alaska)، ويوكون (Yukon) على أنها مسارات محتملة للبعثة الاستكشافية، وهذا كان نابعاً بشكل مباشر من الاكتشافات ذات الصلة، التي حققتها الفرق الأخرى. وقد انتهى بنا المطاف في جدال حول بعض المناطق الجيولوجية الغامضة، وفي خضم ذلك، قام أحدنا بسحب كتاب الجيولوجيا عن أحد المقاعد. وفي أثناء التقليب في الصفحات؛ لإيجاد المكان المناسب لنا، وجدنا

رسماً تخطيطياً، وقد أخذ ذلك الرسم بأنفاسنا، لقد كان يعرض كل شيء بحثنا عنه.

توقف الجدال، وبدأ التخطيط لرحلة استكشافية حقلية جديدة.

وبناء على أساس الاكتشافات السابقة، التي تمت في صخور أقل عمراً بقليل، اعتقدنا أن الجداول القديمة للمياه العذبة كانت أفضل بيئة لنبدأ صيدنا. لقد أظهر هذا الرسم ثلاث مناطق تحتوي على صخور مياه عذبة دينوفية، وكل واحدة لها نظام دلتا نهرية؛ أولاها: الساحل الشرقي لغرينلاند، وهذا موطن أحفورة جيني كلاك، مخلوق بدائي جداً مع أطراف، وأحد أقدم الحيوانات المعروفة من رباعيات الأقدام، ثم كان هناك أمريكا الشمالية الشرقية، حيث عملنا مسبقاً، موطن الهاينربيتون، وهناك منطقة ثالثة، كبيرة وتمتد من الشرق إلى الغرب على عرض المنطقة المتجمدة القطبية الشمالية من كندا. ولم يكن هناك أشجار، وأوساخ، ومدن في المنطقة المتجمدة. كانت هناك فرصة جيدة لإيجاد صخورٍ من العمر، والنوع المطلوبين، مكشوفة بشكل جيد.

لقد كانت المناطق المكشوفة من المنطقة القطبية الكندية معروفة جيداً، خصوصاً للجيولوجيين، وعلماء المستحاثات الكنديين، الذين قاموا مسبقاً برسم خرائط لها. وفي الحقيقية، كان آشتون إمبري (Ashton Embry)، قائد الفرق، التي قامت بكثير من ذلك العمل، قد وصف جيولوجية الصخور الدينوفية الكندية، أنها مطابقة للصخور الدينوفية في بنسلفانيا من جوانب عدة. لقد كنا أنا وتيد مستعدين لتوضيب حقائبنا



هذه الخريطة، التي كانت في بداية الأمر، لأمريكا الشمالية، تلتقط ما نبحث عنه باختصار شديد. الأنواع المختلفة من الظلال تعكس أماكن الصخور المكشوفة من العصر الدينوفي، سواء كانت بحرية، أو من مياه عذبة. والمناطق الثلاثة المعنونة، هي: الأماكن التي كانت دلتا أنهار في القدم. معدلة من الشكل 13,1، ر.هـ. دوت (R.H. Dott) و ر. ل. باتين (R.L. Batten)، نشوء الأرض (Evolution of the Earth)، (نيويورك: McGraw-Hill, 1988). بتصرف.

لحظة قراءة هذه العبارة. إن الدروس التي تعلمناها على الطريق السريع في بنسلفانيا يمكن أن تساعدنا في المنطقة القطبية الشمالية من كندا.

ومن الجدير بالذكر، أن الصخور القطبية أقدم حتى من مراتع المستحاثات في غرينلاند، وبنسلفانيا؛ لذلك فإن المنطقة تطابق بشكل ممتاز معاييرنا الثلاثة: العمر، والنوع، والكشف. والأفضل من ذلك أن تلك المنطقة لم تكن معروفة لعلماء المستتحاثات الفقارية، وبناء عليه، كانت غير منقبة بحثاً عن المستحاثات.

لقد كانت التحديات الجديدة أمامنا مختلفة تماماً عن تلك، التي واجهناها في بنسلفانيا. على طول الطريق السريع في بنسلفانيا، خاطرنا بأن تدهسنا إحدى الشاحنات، التي تمر مسرعة، بينما كنا نبحث عن مستحاثات. أما في المنطقة القطبية، فكانت المخاطرة أن تأكلنا الدببة القطبية، أو أن ينفد الطعام منا، أو أن تقطع بنا الأحوال الجوية السيئة كل السبل. لم يعد باستطاعتنا أن نحزم حقائبنا، ونقود سيارتنا إلى الصخور المحتوية على المستحاثات. علينا الآن أن نقضي ثمانية أيام على الأقل في التخطيط لكل يوم نقضيه في الحقل؛ لأنه لا يمكن الوصول إلى الصخور إلا عن طريق الجو، وأقرب قاعدة تزويد تبعد حوالي 250 ميلاً. ولن نتمكن إلا من أخذ القليل من الطعام، والحاجيات لطاقمنا فقط، بالإضافة إلى هامش ضئيل من الأمان. والأكثر أهمية في الأمر، أن حدود الوزن الصارمة على الطائرة عنت أنه لا يمكننا أن نأخذ معنا، إلا قدراً ضئيلاً من المستحاثات التي وجدناها. أضف إلى هذين القيدين النافذة الزمنية القصيرة، التي يمكننا حقيقة العمل خلالها في المنطقة المتجمدة الشمالية كل عام، عندها سوف ترى أن الإحباطات، التي واجهناها كانت جديدة تماماً ومثبطة.

دخل مشرفي أثناء دراستي العليا، الدكتور فاريش أ. جنكنز جي آر. (Farish A. Jenkins, Jr) من جامعة هارفارد معنا. لقد قاد فاريش بعثات استكشافية إلى غرينلاند طيلة سنوات عديدة، ولديه الخبرة اللازمة للقيام بهذا العمل على أكمل وجه. تم إعداد الفريق. ثلاثة أجيال أكاديمية، تيد، طالبي السابق؛ وفاريش، مشرفي أثناء دراستي العليا، وأنا كنا ذاهبين للسير في المنطقة المتجمدة الشمالية؛ لمحاولة اكتشاف دليل على التحول من الأسماك إلى الحيوانات، التي تعيش على اليابسة.

لا يوجد هناك دليل حقلي لعلم المستحاثات القطبية، وقد تلقينا نصائح حول العتاد من أصدقاء، وزملاء لنا، وقرأنا الكتب؛ لندرك فقط، أنه لا يوجد ما يمكن أن يحضرنا للتجربة ذاتها. ولوهلة كان هذا الشعور تماماً، أكثر رعباً من إسقاط مروحية لشخص ما للمرة الأولى وحيداً في جزء موحش من القطب المتجمد الشمالي. وكانت أول فكرة راودتنا هي الدببة القطبية، لا يسعني أن أخبركم كم مرة قمت بمسح الأفق بحثاً عن بقع بيضاء تتحرك. هذا القلق يمكن أن يجعلك تتخيّل الأشياء. ففي أسبوعنا الأول في المنطقة المتجمدة، رأى أحد أفراد الطاقم بقعة بيضاء متحركة، لقد بدت كدب قطبي، يبعد عنا قرابة نصف ميل. لقد هرعنا جميعاً كشرطة كيستون (Keystone Kops) إلى مسدساتنا، وشعلاتنا، وصفاراتنا، إلى أن أدركنا أن دبنا القطبي لم يكن إلا أرنباً برياً قطبياً يبعد عنا مئتي قدم. رغم عدم وجود أشجار، أو بيوت تمكنك من تقدير المسافة، يمكن أن يفقد المرء قدرته على تحديد المنظور في المنطقة القطبية.

إن القطب الشمالي مكان كبير خاوٍ. كانت الصخور، التي تهمنا مكشوفة على مساحة يبلغ عرضها حوالي 1500كم. وكانت الكائنات التي نبحث عنها بطول حوالي أربعة أقدام. بشكل أو بآخر، كنا بحاجة إلى إيجاد بقعة صغيرة من الصخور تحتوي على المستحاثات. إنّ مراجعي مقترحات الدعم، يمكن أن يكونوا صارمين جداً؛ لأنهم دائماً ما يلقون بالضوء على مثل هذا النوع من الصعوبة. لقد كان أحد المراجعين لإحدى أوائل مقترحات دعم بعثة قطبية لفاريش مثالاً جيداً على ذلك. فعندما كتب هذا المراجع مراجعته للمقترح (بلا ودّ، إن جاز لي أن أضيف)، أن احتمالات إيجاد مستحاثات جديدة في القطب المتجمد الشمالي، كانت «أسوأ من إيجاد إبرة في كومة قش».

لقد استغرق الأمر أربع رحلات استشكافية إلى جزيرة إلزمير على مدى ست سنوات؛ لإيجاد إبرتنا، وكذلك كثيراً من الحظ.

لقد وجدنا ما كنا نبحث عنه بالمحاولة والفشل، والتعلم من أخطائنا. مواقعنا الأولى– في موسم البحث 1999– كانت بعيدة جداً في الجزء الغربي من المنطقة المتجمدة، على جزيرة ميلفيل (Melville Island). لم نكن نعرفها، ولكننا وضعنا على حافة محيط قديم. كانت الصخور ملأى بالمستحاثات، وقد وجدنا العديد من الأنواع المختلفة من الأسماك. وكانت المشكلة أنها جميعاً بدت مخلوقات عاشت في المياه العميقة، وليست هي النوع، الذي كنا نتوقع أن نجده في الجداول، أو البحيرات الضحلة، التي أنشأت الحيوانات العائشة على اليابسة. باستخدام تحليل أشتون إمبري الجيولوجي، قررنا في عام 2000 أن ننقل

بعثتنا شرقاً إلى جزيرة إلزمير؛ لأن الصخور هناك كانت تحتوي على قيعان جداول عميقة. ولم يمض وقت طويل حتى بدأنا بالعثور على قطع من عظام أسماك بحجم ربع دولار محفوظة كمستحاثات.

لقد جاء الاكتشاف المذهل حقاً مع نهايات الموسم الحقلي في عام 2000. وكان ذلك قبل العشاء بقليل، وقبل أسبوع تقريباً من موعد انطلاقنا؛ للعودة إلى الوطن. عاد الطاقم إلى المخيم، وكنا منخرطين في أنشطتنا المعتادة قبل المساء: ننظم مجموعاتنا لذلك اليوم، ونحضر ملاحظاتنا الحقلية، وبدأنا بتجهيز الطعام. لم يكن جاسون داونز (Jason Downs)، الذي أصبح بعدها طالباً متلهفاً لعلم المستحاثات في المرحلة الجامعية الأولى، قد عاد إلى المخيم في الوقت المحدد. وكان هذا مدعاة للقلق، حيث كنا نخرج عادة في فرق، وكنا إذا افترقنا، نعطي كل واحد منا الآخر جدولاً زمنياً محدداً لمواعيد لقاءاتنا التالية. ورغم وجود الدببة القطبية في المنطقة، والعواصف العنيفة، التي يمكن أن تهب على حين غرّة، لم نكن لنخاطر أبداً. أتذكر أنني كنت جالساً في الخيمة الرئيسية مع الطاقم، وكان القلق على جاسون يتراكم مع كل لحظة تمر، وعندما شرعنا في إعداد خطة للبحث عنه، سمعتُ صوت سحاب الخيمة يفتح. وأول ما رأيت، كان رأس جاسون، لقد كانت تعلو وجهه نظرة وحشية غريبة، وكانت أنفاسه مقطوعة. وعندما دخل جاسون إلى الخيمة، عرفنا أننا لم نكن نتعامل مع حالة دب قطبي طارئة، لقد كانت بندقيته لا تزال على كتفه. وقد أصبح السبب وراء تأخره ينجلي بينما كانت يده، التي لا تزال ترتجف تخرج قبضة وراء أخرى من العظام المستحاثة،





مخيمنا (أعلى) يبدو ضئيلاً مقارنة باتساع المشهد. مأواي الصيفي (أسفل)، عبارة عن خيمة صغيرة، عادة تكون محاطة بأكوام من الحجارة؛ لتحميها من الرياح التي تبلغ سرعتها خمسين ميلاً في الساعة. صور من المؤلف.

التي كانت محشوة في كل جيب لديه: في معطفه، وبنطاله، وقميصه الداخلي، وحقيبته اليومية. لقد تخيلت أنه كان ليحشو جواربه وحذاءه أيضاً، لو كان بإمكانه أن يمشي بها محشوة إلى المخيم. لقد كانت جميع

تلك العظام المستحاثة الصغيرة على السطح في موقع صغير، لا يعدو مساحة اصطفاف سيارة صغيرة، يبعد قرابة الميل عن المخيم. لا بد للعشاء أن يتأخر الآن.

مع ضوء نهار يدوم أربعاً وعشرين ساعة في اليوم في الصيف القطبي، لم يكن علينا أن نقلق حول غياب الشمس؛ لذلك التقطنا أصابع الشوكولاته، وتوجهنا فوراً إلى موقع جاسون. لقد كان على جانب تلة، بين واديي نهرٍ جميلين، وكما اكتشف جاسون، كان مغطى بسجادة من عظام الأسماك المستحاثة. قضينا بضع ساعات نلتقط الأجزاء، والصور، ونعد الخطط. إن هذا الموقع يحتوي تماماً على كل ما كنا نبحث عنه. رجعنا في اليوم التالي بهدف جديد: إيجاد طبقة الصخور، التي احتوت العظام بدقة.

لقد كانت الفكرة هنا تحديد مصدر مجموعة جاسون من أجزاء العظام، وأملنا الوحيد في إيجاد هياكل عظمية كاملة سليمة. لقد كانت المشكلة، هي بيئة القطب المتجمد الشمالي كل شتاء، تنخفض درجة الحرارة إلى 40 درجة فهرنهايت تحت الصفر. وفي الصيف، عندما لا تغرب الشمس أبداً، كانت درجة الحرارة ترتفع إلى 50 درجة. إن دورة التجميد، والإذابة الناتجة عن هذا الفرق في درجات الحرارة تفتت الصخور والمستحاثات. إنها تبرد وتتقلص كل شتاء، وتسخن وتتمدد كل صيف. وبينما تتقلص وتتمدد في كل موسم على مر آلاف السنين على السطح، كانت العظام تتفتت. وعندما واجهتنا كتلة مختلطة من العظام المنشورة على التلة، لم يكن بإمكاننا أن نحدد أية طبقة صخرية



هذا موقع عملنا: جزيرة إلزمير الغربية، في مقاطعة نونافوت، كندا، 1000 ميل عن القطب الشمالي.

واضحة كمصدر لها. لقد قضينا أياماً عديدة نتتبع آثار القطع العظمية، نحفر ثقوباً اختبارية، مستخدمين مطارقنا الجيولوجية كقضبان سبر؛ لنرى من أين في هذا الجرف كانت تلك العظام تصدر. وبعد أربعة أيام، كشفنا الطبقة، وفي النهاية وجدنا هيكلاً تلو الآخر من مستحاثات سمكية، وكانت في معظمها ممددة أحدها فوق الآخر. لقد قضينا أجزاء من صيفين في كشف هذه الأسماك.

لقد كان الفشل حليفنا ثانية: فجميع الأسماك التي وجدناها كانت معروفة جيداً، وقد تم جمعها سابقاً في مواقع من العمر نفسه في أوروبا الشرقية. وفضلاً عن ذلك، لم تكن هذه الأسماك حتى قريبة من الحيوانات، التي تعيش على اليابسة. ففي عام 2004، قررنا أن نحاول مرة أخرى، وكانت هذه المرة تجربة يائسة. لقد كانت البعثات الاستكشافية في القطب المتجمد مكلفة جداً إلى حد الممنوع، وبسبب نقص الاكتشافات الهامة، كان علينا أن نكتفي وننهي تلك البعثات.

وتغيّر كل شيء خلال أربعة أيام في أوائل يوليو من عام 2004. لقد كنت أقلب صخرة في أسفل منطقة الحفريات، أكسر الجليد أكثر مما أكسر الصخور، فكسرتُ الجليد ورأيت شيئاً لن أنساه أبداً: مجموعة من القشور لم تكن تشبه أي شيء رأيناه في المحجر حتى ذلك الحين. هذه المجموعة قادتنا إلى بقعة أخرى مغطاة بالجليد. وقد بدت كمجموعة من الفكوك. ولكنها رغم ذلك لم تكن كفكوك أي من الأسماك، التي رأيتها من قبل. لقد بدت كأنها كانت متصلة برأس مسطحة.

بعد يوم من ذلك، كان زميلي ستيف غاتسي (Steve Gatesy) يقلب الصخور في أعلى المحجر. رفع ستيف صخرة بحجم سمكة تقريباً؛ ليكشف عن خطم حيوان ينظر إليه تماماً. وكسمكتي، التي كانت مغطاة بالجليد في قاع الحفرة، كان لها رأس مسطح، لقد كانت هذه جديدة وهامة. ولكن على النقيض من سمكتي، كانت سمكة ستيف واعدة أكثر. لقد كنا ننظر على الطرف الأمامي، ومع بعض الحظ، قد يكون باقي الهيكل موجوداً في الجرف بأمان. قضى ستيف بقية الصيف

يزيل الصخور عنها شيئاً فشيئاً؛ كي نتمكن من أخذ الهيكل كاملاً معنا إلى المختبر ونقوم بتنظيفه. إن عمل ستيف المتقن بعناية قاد إلى استعادة واحدة من أرقى الأحافير المكتشفة حتى يومنا هذا في المنطقة الانتقالية بين الماء واليابسة.

إن العينات، التي جلبناها معنا إلى المختبر في الوطن كانت أكثر قليلاً من جلمود يحتوي على مستحاثة. وطيلة شهرين، كانت الصخرة تُزال قطعة تلو الأخرى، غالباً باليد، وأدوات الأسنان، أو معاول صغيرة من قبل المحضرين في المختبر، وكانت تنكشف كلّ يوم قطعة جديدة من تشريح الكائن المتحجر، وفي كل مرة كان ينكشف لنا جزء كبير تقريباً، وكنا نتعلم شيئاً جديداً عن أصل الحيوانات، التي تعيش على اليابسة.

ومَا رأيناه ينكشف تدريجياً من تلك الصخور خلال شتاء 2004، كان كائناً وسطاً بين الأسماك، والحيوانات، التي تعيش على اليابسة. إن الأسماك والحيوانات، التي تعيش على اليابسة تختلف في جوانب عدة فالأسماك لها رؤوس مخروطية، بينما كانت الحيوانات الأولى، التي تعيش على اليابسة لها رؤوس مسطحة كرؤوس التماسيح، وعيناها في الأعلى. وليس للأسماك أعناق: فأكتافها متصلة برؤوسها بسلسلة من الصفائح العظمية. أما الحيوانات الأولى، التي عاشت على اليابسة، فلها أعناق كالحيوانات البرية التي تلتها، مما يعني أن رؤوسها يمكن أن تنحني بشكل مستقل عن أكتافها.

وهناك اختلافات كبيرة أخرى أيضاً، فللأسماك حراشف على جميع






تبدأ عملية إيجاد المستحاثات بكتلة في الصخور تزال تدريجياً مع الزمن. هنا أعرض لكم إحدى المستحاثات، بينما كانت تنقل من الحقل إلى المختبر، وتحضر بدقة، وحذر بوصفها عينةً: الهيكل العظمي للحيوان الجديد. الصورة في أعلى اليسار التقطها المؤلف، والصور الأخرى تفضل بها تيد ديتشلر (Ted Daeschler)، من أكاديمية العلوم الطبيعية في فيلادلفيا (Academy of Natural Sciences of Philadelphia).

جسمها، أما حيوانات اليابسة، فليس لها أية حراشف، وللأسماك أيضاً– على جانب كبير من الأهمية– زعانف، بينما حيوانات اليابسة لها أطراف، وأصابع، ومعاصم، وكواحل. ويمكننا أن نكمل هذه المقارنات؛ لإنشاء قائمة طويلة من أوجه الاختلاف بين الأسماك وحيوانات اليابسة.

ولكن كائننا الجديد قد حطم التمييز بين هذين النوعين المختلفين

من الحيوانات. فقد كان كالأسماك له حراشف على ظهره، وزعانف مع شبكات زعنفية. ولكنه كحيوانات اليابسة الأولى، له رأس مسطح ورقبة. وعندما ننظر داخل الزعنفة، نرى عظاماً تمثل الذراع العلوية، والذراع الأمامية، وحتى أجزاء من الرسغ، والمفاصل موجودة فيه أيضاَ: هذه سمكة لها كتف، ومرفق ومفاصل رسغية، جميعها داخل شبكة زعنفتها.

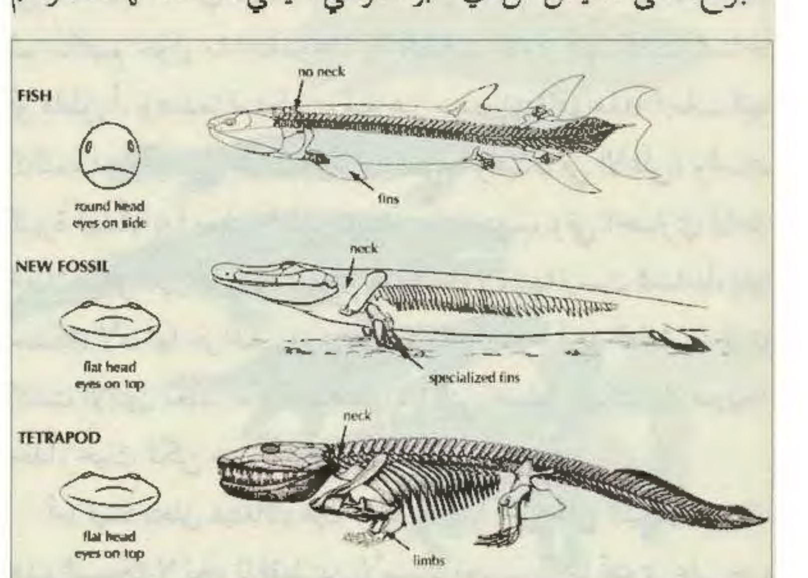
والسمات جميعها، التي يتشارك فيها هذا الحيوان مع الكائنات الحية، تبدو بدائية افتراضياً. فعلى سبيل المثال، إنّ شكل عظام «الذراع» العلوية، وحوافها للسمكة «العضد»، تظهر سمكية من ناحية، ومن ناحية أخرى برمائية. والأمر ذاته ينطبق على الجمجمة والكتف.

لقد استغرقنا إيجادها ست سنين، ولكن هذه المستحاثة أكدت لنا أحد تنبوءات علم المستحاثات: لم تكن السمكة الجديدة حلقة وصل فقط بين نوعين من الحيوانات، وإنما وجدناها في الفترة الزمنية الصحيحة من تاريخ الأرض أيضاً، وفي البيئة القديمة الصحيحة. لقد جاءت الإجابة من صخور عمرها 375 مليون سنة، تشكلت في الجداول القديمة.

وبوصفنا مكتشفين للمخلوق، كان لي، ولتيد، ولفاريش مزية إعطائها اسماً علمياً رسمياً. وقد رغبنا أن يعكس الاسم موطن السمكة في إقليم نونافوت (Nunavut Territory) في القارة المتجمدة الشمالية، والجميل، الذي نكنه لشعب الإسكيمو، هو سماحهم لنا بالعمل هناك. فقد انخرطنا في مجلس مسني النونافوت، المعروف بشكل رسمي باسم (Inuit Qaujimajatuqangit Katimajiit)، لإيجاد اسم بلغة أهل

الإسكيمو. لقد كان المصدر الرئيسي لقلقي الواضح، هو أن مجتمعاً يسمى بهذا الاسم، قد لا يقترح اسماً علمياً يمكننا لفظه. أرسلت لهم صورة للمستحاثة، وخرج المسنون باقتراحين: سيكساجياك (Siksagiaq)، وتيكتاليك (Tiktaalik). وقد اخترنا الأخيرة؛ لسهولة لفظها نسبياً من قبل غير الناطقين بلغة الإسكيموو؛ لأن معناها بتلك اللغة هو: «سمكة المياه العذبة الكبيرة».

لقد كانت تيكتاليك الخبر الرئيسي، في عدد من الصحف بعد يوم من إعلاننا عما وجدناه في إبريل من عام 2006، بما في ذلك العناوين الرئيسية في صحف مثل نيويورك تايمز. وقد انطفأ هذا الاهتمام خلال أسبوع، على النقيض من أي خبر آخر في حياتي المعتادة الهادئة. رغم



الشكل يُوضح كلّ شيء. التيكتاليك هو كائن وسيط بين الأسماك، والحيوانات التي تعيش على اليابسة.

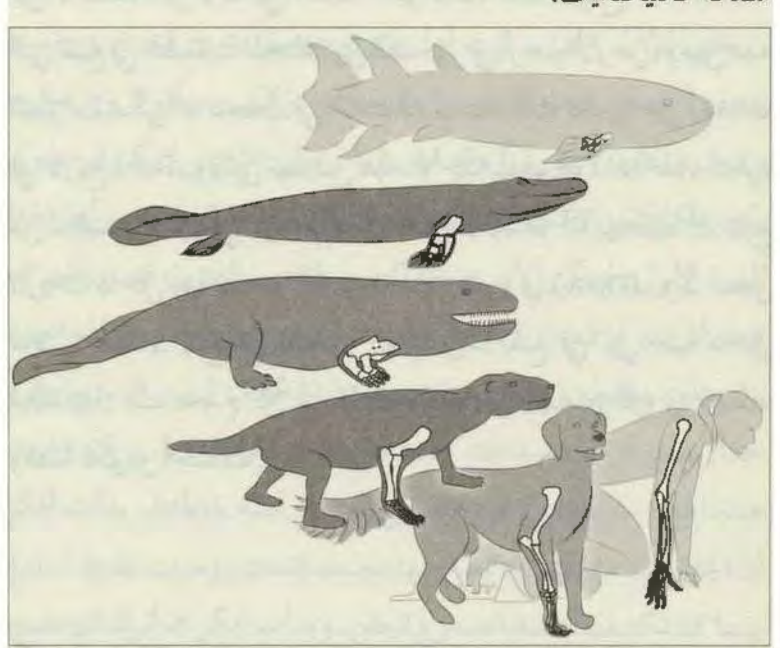
ذلك، فإنه بالنسبة لي، كانت أعظم لحظة في هذه الغارة الصحفية، هي عدم رؤية أية رسوم كاريكاتورية سياسية، أو قراءة تعليق المحررين، والنقاشات المحتدة في المدونات الإلكترونية. لقد حدث ذلك في الحضانة، التي يدرس بها ابني.

في وسط الضجيج الإعلامي، طلبت مني معلمة ابني في الحضانة أن أجلب المستحاثة وأصفها. وقمت بحكم الواجب بجلب نموذج مصنّع للتيكتاليك إلى صف ناثانيال (Nathaniel)، مجهزاً نفسي للفوضى التي ستنجم عن ذلك. لقد كان سلوك المعلمة ذات الأربعة والعشرين خريفاً، والأطفال ذوي خمسِ السنواتِ جيداً، بينما كنت أشرح لهم كيف عملنا في القطب الشمالي لإيجاد المستحاثة، وأريتهم أسنان الحيوان الحادة، ثم سألتهم حول ما اعتقدوها. ردّ الطالب الأول أنها كانت تمساحاً أو قاطوراً. وعندما استعلمت منه عن سبب اعتقاده هذا، أجاب أنها كالتمساح، أو السحلية لها رأس مسطح، وعينان في الأعلى، وأسنان كبيرة أيضاً. بدأ بعض الطلبة بإبداء معارضتهم، وفي اختياري لأحد الطلاب الرافعين أيديهم، سمعته يقول: لا، لا، إنها ليست تمساحاً، إنها سمكة؛ لأن لها حراشف وزعانف. وبعدها صرخ أحد الطلاب: «ربما كانت الاثنين معاً». لقد كانت الرسالة التي تحملها التيكتاليك صريحة جداً، حيث تمكن حتى طلاب الحضانة من رؤيتها.

أما فيما يتعلق بمبتغانا، فإن هناك مأخذاً آخر على التيكتاليك. إن هذه السمكة لا تخبرنا فقط عن الأسماك فحسب، إنما تحتوي على جزء منا أيضاً. وإن البحث عن حلقة الوصل، هذه هو ما قادني بادئ ذي

بدء؛ للبحث في القطب الشمالي.

كيف يمكنني أن أتأكد من أن هذه السمكة تحمل في ثناياها ما تخبرنا به حول أجسامنا؟ لنأخذ عنق التيكتاليك. الأسماك جميعها قبل التيكتاليك لها مجموعة من العظام، التي تصل الجمجمة بالكتف؛ لذلك فإن كل مرة يثني بها الحيوان جسمه، فإنه يثني رأسه أيضاً. أما التيكتاليك فهي مختلفة؛ لأن رأسها متحرر تماماً من الكتف. وهذا الترتيب بأسره هو ما تتشارك به البرمائيات، والزواحف، والثدييات بما فيها نحن البشر. إن التحول الكامل يمكن أن يتم تتبعه بتفقّد بعض العظام الصغيرة في سمكة كالتيكتاليك.



تتبع عظام الذراع من الأسماك وصولاً للإنسان.

يمكنني أن أعقد تحليلاً مشابها للمعصمين، والأضلاع، والأذنين، والأجزاء الأخرى من هيكلنا، ويمكن تتبع هذه السمات جميعها بالرجوع إلى سمكة كهذه. إن هذه المستحاثة هي جزء من تاريخنا فحسب، تماماً كسلف الإنسان الإفريقي (African Hominids)، والسلف الذي يمشي على رجلين (Australopithecus afarensis) الشهير بلوسي (Lucy). إن رؤية لوسي تجعلنا قادرين على فهم تاريخنا كبدائيات متطورة جداً. ورؤية التكتاليك، هي كرؤيتنا لتاريخنا كأسماك.

مَا الذي تعلمناه إذاً؟ إن العالم، الذي نعيش فيه منظم بشكل يمكننا من الاستفادة من نزهة في حديقة الحيوانات؛ لنتنبأ بأنواع المستحاثات، التي تقبع في الطبقات المختلفة من الصخور في أرجاء الأرض، ومثل هذه التنبوءات يمكن أن تتسبب في اكتشاف مستحاثات تخبرنا عن أحداث في تاريخ الحياة. ويبقى تسجيل هذه الأحداث موجوداً داخلنا، كجزء من تنظيمنا التشريحي. وما لم أذكره حتى الآن، هو أنه بإمكاننا أن نتتبع تاريخنا داخل جيناتنا، عن طريق الحمض النووي (DNA). وإنّ سجل ماضينا هذا لا يقبع في صخور العالم، وإنما يقبع في كل خلية داخل أجسادنا. سنستخدم كلاً من المستحاثات، والجينات؛ لتروي قصتنا، وقصة تكوين أجسادنا.

الفصل الثاني

الحصول على القبضة

إن من المستحيل نسيان صور مختبر التشريح في كلية الطب. تخيل أنك تمشي في غرفة ستقضي بها عدة أشهر، وأنت تقوم بتشريح جسد بشري طبقة طبقة، وعضواً عضواً، وذلك كطريقة؛ لتعلم عشرات الآلاف من أسماء أجزاء الجسم الجديدة.

ففي الأشهر التي سبقت أول تشريح جسم بشري قمت به، قمت بتجهيز نفسي بمحاولة تصور ما سأراه، وكيف سيكون رد فعلي، وكيف سيكون شعوري؟ وقد تبين لي أن عالمي المتخيل لم يكن ليحضرني بأي شكل من الأشكال لتلك الخبرة. لحظةَ أزلنا الغطاء، ورأينا الجثة للمرة الأولى، لم يكن الأمر مدعاة للضيق بالقدر، الذي توقعت. لقد كنا نريد أن نشرح الصدر؛ لذلك قمنا بفتحه تاركين الرأس، والذراعين، والرجلين ملفوفين بشاش مشبع بالمواد الحافظة. لم يبد النسيج بشرياً جداً، فبعد أن تمت معالجته بعدد من المواد الحافظة، لم ينزف الجسد عندما قمنا بشرطه، وكان الجلد من الداخل أشبه بالمطاط. بدأت أفكر أن الجثة أشبه ما تكون باللعبة منها بجسد إنسان، ومرت بضعة أسابيع بينما كنا نكشف أعضاء الصدر والبطن. وبدأت أفكر أن أترك البرنامج، بعد أن رأيت معظم الأعضاء الداخلية، وقد عززت تلك الخبرة ثقتي

بنفسي تلك الخبرة. لقد قمت بتشريحاتي المبدئية، وقمت بالجراحات بنفسي، وتعلمت تشريح معظم الأعضاء الرئيسية. ولقد كان ذلك كله آلياً بلا أي عواطف وعلمياً بحتاً.

لقد تحطمت هذه الأوهام المريحة بفظاظة عندما اكتشفت اليد. فبينما كنت أزيل الشاش حول الأصابع – وبينما كنت أرى المفاصل، وأطراف الأصابع، والأظافر للمرة الأولى – اكتشفت معها انفعالات كانت مختفية خلال الأسابيع القليلة الماضية. لم تكن هذه لعبة أو مجسماً، لقد كان هذا فيما مضى كائناً بشرياً، يستخدم تلك اليد؛ ليحمل ويلاطف بها. وفجأةً، أصبح هذا التمرين الميكانيكي، أي التشريح، شخصياً وانفعالياً بشكل عميق. وحتى تلك اللحظة، كنت أعمى، ولم أدرك ارتباطي بتلك الجثة. لقد كشفت مسبقاً المعدة، والمرارة، وأعضاء أخرى، ولكن ما الأمر المعقول الذي يمكن أن يربطني عند رؤية مرارة؟

ما هو الأمر الجوهري باليد، الذي يجعلها بشرية؟ لا بد أن الإجابة، عند مستوى ما، هو أن اليد وسيلة اتصال مرئية بيننا؛ فهي توقيع لذاتنا، وما يكن أن نحرزه. إن قدرتنا على الإمساك، والبناء، وجعل واقع أفكارنا يمتد داخل هذه المجموعة المعقدة من العظام والأعصاب والأوعية الدموية.

إن أول ما يعصف بك عندما ترى اليد من الداخل هو تراصها. الكرة الإبهامية، تلة راحة اليد، تحتوي أربع عضلات مختلفة. تلاعب بإبهامك وأمِل يدك: سوف تعمل عشر عضلات، وست عظام على الأقل بانسجام، ويوجد في داخل المعصم على الأقل ثمانية عظام صغيرة

تتحرك على بعضها. قم بثني معصمك، سوف تستخدم لهذا عدداً من العضلات، التي تبدأ في أعلى ذراعك الأمامية، وتمتد في الأربطة بينما تعبر ذراعك حتى تنهي بيدك. حتى أبسط الحركات تتضمن اشتراكاً معقداً بين أجزاء عدة متراصة في مساحة صغيرة.

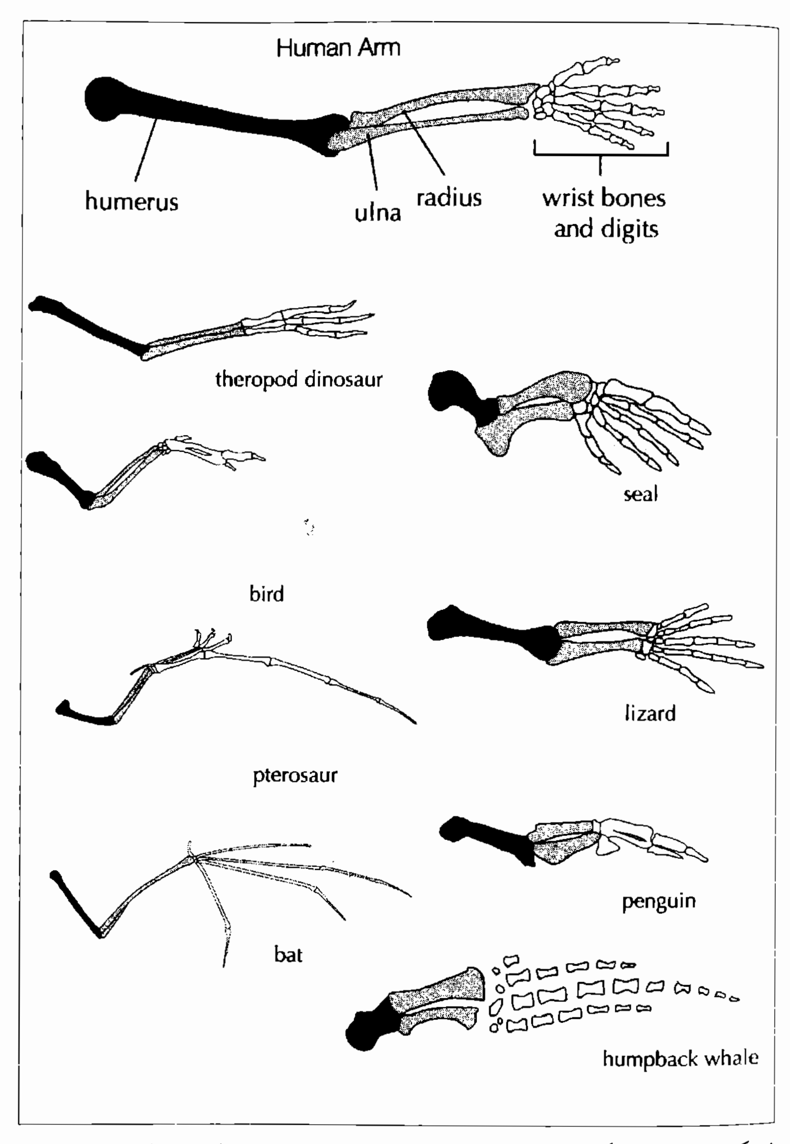
وإن العلاقة بين التعقيد، والإنسانية في أيدينا، قد أذهل العلماء منذ زمن طويل. ففي عام 1822، كتب الجراح الاسكتلندي البارز، السير تشارلز بيل (Sir Charles Bell) كتابه الكلاسيكي حول تشريح اليدين. وكان عنوان الكتاب دالاً على هذا كله: «اليد، وآليتها، وموهبتها كتصميم معبر». بالنسبة لبيل، كان تركيب اليد «مثالياً»؛ لأنها كانت معقدة ومرتبة بشكل مثالي بما يناسب طريقة عيشنا. ووفقاً لوجهة نظره، لا يمكن لهذا الكمال المصمم إلا أن يكون من مصدر إلهي.

لقد كان عالم التشريح العظيم السير ريتشارد أوين (Sir Ritchard Owen)، أحد قادة العلماء في هذا البحث عن الترتيب الإلهي داخل الأجسام. وقد كان محظوظاً؛ لأن يكون عالم تشريح في أواسط القرن التاسع عشر، عندما كان وما يزال هناك أنواع جديدة تماماً، ليتم اكتشافها موجودة في البقاع البعيدة من الكرة الأرضية. وبينما كانت أجزاء أكثر من العالم تسكتشف من قبل الغرب، وجدت أنواع متعددة ومتنوعة من المخلوقات البرية طريقها إلى المختبرات والمتاحف. وصف أوين أول غوريلا جلبت برحلات استكشافية إلى أفريقيا الوسطى. وقد قام بسبك اسم الديناصور «Dinosaur»، لنوع جديد من المستحاثات، التي تم اكتشافها في صخور إنجلترا. وقد منحته دراسته لهذه المخلوقات

الجديدة الغريبة بصيرة خاصة: لقد بدأ يلاحظ أنماطاً مهمة في الفوضى الظاهرية للتنوع الحيوي.

اكتشف أوين أن أذرعنا، وأرجلنا، وأيدينا، وأقدامنا تنخرط تحت نمط أكبر. لقد رأى ما عرفه علماء التشريح قبله، أنّ هناك نمطاً للهيكل العظمي لذراع الإنسان: عظمة واحدة في أعلى الذراع، واثنتان في الذراع الأمامية، ومجموعة من تسع عظام صغيرة عند الرسغين، ثم سلسلة من خمس عصي تشكل الأصابع. إن نمط العظام في الرجل البشرية مشابه جداً لهذا النمط: عظمة واحدة، وعظمتان، وعظام الكاحل، وخمس أصابع. وبمقارنة هذا النمط بتنوع الهياكل العظمية في العالم، حقق أوين اكتشافاً عظيماً.

لم تكن عبقرية أوين في تركيزه على ما جعل التغيرات في الهياكل العظمية مختلفة. إن ما وجده، وتم الترويج له فيما بعد بسلسلة من المحاضرات والمجلدات، هو تشابهات استثنائية بين المخلوقات المختلفة كالضفادع والإنسان. فجميع المخلوقات ذات الأطراف، سواء أكانت تلك الأطراف أجنحة أم زعانف أم أيد لها تصميم مشترك. عظمة واحدة هي العضدية في الذراع والفخذية في الرجل، وتقوساً لعظمتين تتصلان بسلسلة من العظام الصغيرة، والتي تتصل بالأصابع. إن هذا النمط يشكل معمارية الأطراف جميعها. فإذا أردت أن يتشكل لديك جناح خفاش، اجعل الأصابع طويلة جداً. هل تريد صنع حصان؟ قم بإطالة الأصابع الوسطى، وقصّر، وباعد بين الأصابع الخارجية. وماذا عن رجل ضفدع؟ قم بإطالة عظام الرجل، وصل العديد منها معاً.



الشكل المشترك للأطراف جميعها: عظمة واحدة، تتلوها عظمتان، ثم مجموعة من العظيمات الصغيرة، ثم أصابع اليدين، أو القدمين.

إن الاختلافات بين الكائنات تقبع في الاختلافات بأشكال وأحجام العظام، وعدد العظيمات الصغيرة، والأصابع. وعلى الرغم من التغير الجذري في ما تفعله الأطراف، يبدو أن هذا المخطط التفصيلي موجود فيها دائماً.

وبالنسبة لأوين، كانت رؤية تصميم الأطراف بداية فحسب، فعندما نظر إلى الجمجمة والعمود الفقري، وفي الواقع عندما أخذ في حسبانه معمارية الجسم كاملة، وجد الأمر ذاته. إن هناك تصميماً أساسياً في هياكل الحيوانات جميعاً. إن الضفادع، والخفافيش، والإنسان، والسحالي جميعها ليست سوى تنوعات من نمط ما. وكان ذلك النمط، بالنسبة لأوين، مخطط الخالق.

بعد أن أعلن أوين عن ملاحظاته في دراسته الكلاسيكية «حول طبيعة الأطراف (On the Nature of Limbs)»، قدم تشارلز داروين توضيحاً أنيقاً لها. فسببُ اشتراك جناح الخفاش، وذراع الإنسان بالنمط نفسه، هو أن لهما سلف واحد. والتعليل نفسه لذراع الإنسان، وجناح الطير، وأرجل البشر وأرجل الضفادع، وكل شيء له أطراف. إن هناك اختلافاً أساسياً بين نظرية أوين، ونظرية داروين، فنظرية داروين تسمح لنا باستنباط توقعات دقيقة. وباتباع داروين، يمكننا أن نجد أن مخطط أوين له تاريخ سوف يتم كشفه في مخلوقات دون أطراف بتاتاً. أين إذاً، نبحث عن تاريخ نمط الأطراف؟ نبحث في الأسماك وهياكل زعانفها.

رؤية السمكة

كانت الفجوة في زمن أوين وداروين بين الزعانف والأطراف كبيرة جداً. ليس هناك شبه واضح بين زعانف الأسماك والأطراف. فمن الخارج تتكون معظم زعانف الأسماك من شبكات الزعنفة. وليس في أطرافنا أي شيء كهذا، ولا حتى في أطراف أي كائن آخر حي في أيامنا هذه. ولا تسهل المقارنة حتى بإزالة شبكات الزعنفة؛ لرؤية الهيكل تحتها. ولا يوجد أي شيء يمكن مقارنته بنمط أوين، في معظم الأسماك (عظمة واحدة–عظمتان–مجموعة من العظام الصغيرة–أصابع). الأطراف جميعها لها عظمة واحدة طويلة في قاعدتها، العضد في أعلى الذراع، وعظم الفخذ في الرجل. وإن الهيكل العظمي في الأسماك يبدو مختلفاً تماماً، فقاعدة الزعنفة تحتوي على أربع عظام أو أكثر داخلها.

بدأ علماء التشريح في أواسط القرن التاسع عشر، التعرف على أسماك حية غريبة من القارات الجنوبية. أولاها كان اكتشاف لعالم تشريح ألماني، يعمل في جنوب أمريكا. لقد بدت كسمكة عادية، مع زعانف وحراشف، ولكن خلف حنجرتها، كانت هناك أكياس تحتوي أوعية دموية حولها رئات. ورغم ذلك، كان للمخلوق حراشف وزعانف. فأصيب المكتشفون بارتباك شديد، حتى أنهم سموا ذلك الحيوان بالبرمائي المتناقض ذي الحراشف (Lepidosiren paradoxa). وقد تم بعد ذلك بوقت قصير اكتشاف أسماك لها رئات في أفريقيا وأستراليا، وسميت بالأسماك ذات الرئة، وقد جلب المستشكفون

الأفريقيون واحدة لأوين. وقد وجد علماء مثل ثوماس هوكسلي (Thomas Huxley)، وعالم التشريح كارل جيجنبار (Carl Gegenbaur) أن الأسماك ذات الرئة هجينة بين أحد البرمائيات، وأحد الأسماك. وقد وجدها المحليون لذيذة الطعم.

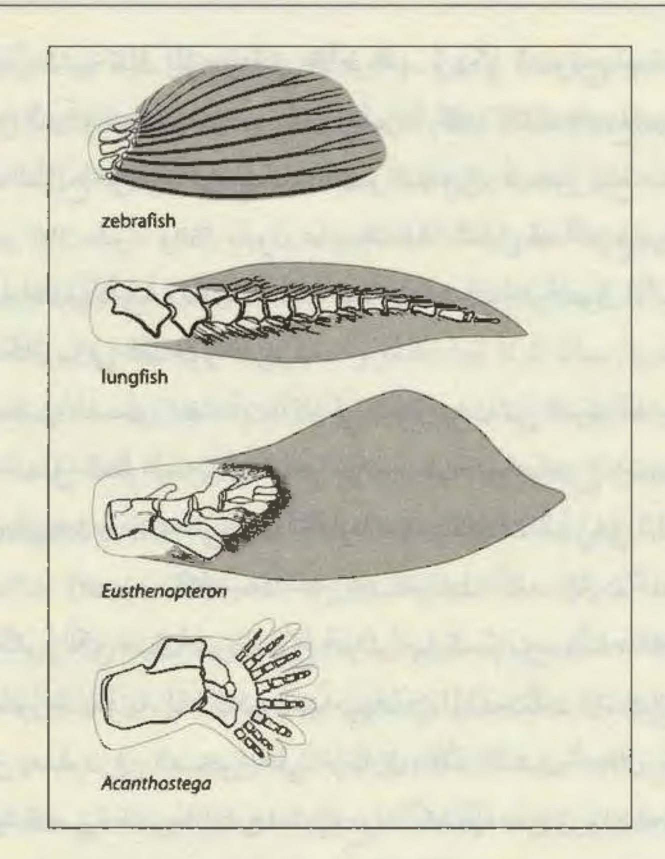
وكان لنمط زعانف هذه الأسماك البسيط أثرٌ بالغٌ على العلم. إن زعانف أسماك الرئة لها عظمة واحدة في قاعدتها تصل إلى الكتف. فبالنسبة لعلماء التشريح، كانت المقارنة واضحة. إن أعلى ذراعنا يحتوي على عظمة واحدة، وتلك العظمة الواحدة، العضدية، تتصل بأكتافنا. وفي أسماك الرئة، لدينا سمكة لها عظمة عضدية، وهي ليست أية سمكة، إنها سمكة لها رئة. فهل هذه مصادفة؟

وعندما أصبح كمٌ كبير من هذه الأجناس الحية معروفاً في القرن التاسع عشر، بدأت القرائن تظهر من مصدر آخر. وكما يمكنك أن تتخيل، فقد أتت هذه الأدلة من أسماك قديمة.

إحدى أولى هذه المستحاثات جاءت من شواطئ غاسبي بينينسويلا (Gaspe Peninsula) في الكويبيك (Quebec)، من صخور يصل عمرها إلى حوالي 380 مليون عام. وقد أعطيت الكلمة اسماً يصعب لفظه هو يوسثينوبتيرون (Eusthenopteron). وكان لهذه السمكة خليط مدهش من السمات، التي يمكن رؤيتها في كل من البرمائيات، والأسماك. ومن ضمن مخطط أوين للأطراف المتضمن عظمة واحدة–عظمتين–مجموعة من العظام الصغيرة، وأصابع، كان لهذا المخلوق عظمة واحدة وعظمتين، ولكن في زعنفة. لذلك، فإن بعض الأسماك كان لديها

تراكيب تشبه تلك الموجودة في الأطراف. لم يكن النموذج المعماري لأوين إلهياً وجزءاً سرمدياً من الحياة بأسرها. لقد كان له تاريخ، وكان ذلك التاريخ موجوداً في صخور العصر الديفوني، صخور يبلغ عمرها ما بين 390 مليون و360 مليون عام. إن هذا الدليل قد أخرج برنامجاً بحثياً جديداً بأجندة بحثية جديدة تماماً. يجب أن نجد أصول الأصابع في مكان ما في الصخور الديفونية.

جلبت الصخور مفاجآت أكثر في العشرينيات من القرن العشرين. فقد حصل العالم السويدي اليافع غونر سيف–سوديربيرغ (Gunnar Save-Soderbergh) على فرصة خارقة؛ لاستكشاف الساحل الشرقي لغرينلاند (Greenland) بحثاً عن المستحاثات. لقد كانت المنطقة مجهولة، ولكن سيف سوديربيرغ أدرك أنها تتسم بترسبات هائلة من الصخور الديفونية. لقد كان واحداً من عملاء المستحاثات الاستثنائيين، الذين يعملون في الصخور على الإطلاق، فقد اكتشف خلال حياته المهنية القصيرة مستحاثات هامة بروح استكشافية جريئة، وانتباه دقيق للتفاصيل. (لسوء الحظ، قضى نحبه بشكل مأساوي؛ بسبب السل في عمر مبكر، بعد النجاح المذهل لرحلاته الاستكشافية). وفي الرحلات الاستكشافية بين عامي 1929 و1934، اكتشف فريق سيف سودربيرغ ما سمي في ذلك الوقت بالحلقة الرئيسية المفقودة. وقد نشرت الصحف في أنحاء العالم اكتشافه، قام المحررون بالتقليل من أهميتها، وسخرت منها الرسوم الكرتونية. لقد كانت المستحاثات المدروسة فسيفسائية حقاً: كان لها رؤوس، وذيول كرؤوس، وذيول الأسماك، رغم ذلك كان لها



زعانف معظم الأسماك - كسمكة الزرد (Zebrafish) (أعلى) - لها قدر كبير من التشابك في الزعنفة، والعديد من العظام عند القاعدة. أسماك الرئة حازت اهتمام الناس؛ لأن لها عظمة مفردة عند قاعدة الطرف مثلنا. الايوسثنوبتيرون (وسط) يظهر كيف بدأت المستحاثات تملأ الفجوة، فلديها عظام يمكن مقارنتها بعظام أعلى الذراع، وأدناها. الأكانثوستيجا (في الأسفل) تشترك مع الايوسثنوبتيرون بنمط عظام الذراع مع إضافة أصابع كاملة التشكل.

أطراف متشكلة بشكل تام (مع الأصابع)، وفقرات كانت تشبه فقرات البرمائيات بشكل غير معقول. وبعد وفاة سيف سوديربيرغ، قام زميله إريك جارفيك (Eric Jarvik)، بوصف المستحاثات مسمياً واحدة من هذه الكائنات باسم إكثيوستيجا سوديربيرغي (Ichthyostega soderbeghi)؛ تشريفاً لصاحبه.

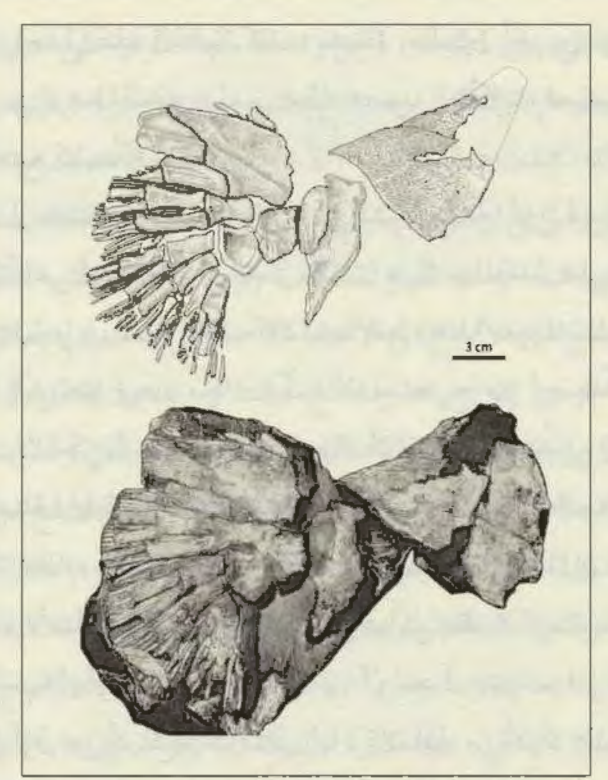
وفي قصتنا، تعد الإكثيوستيجا خيبة أمل بعض الشيء. صحيح أنها وسيط مهم في معظم نواحي رأسها وظهرها، إلا أنها لا تقدم الكثير حول أصل الأطراف؛ لأنها، كأي برمائي، لديها أصابع يدين ورجلين. كان هناك مخلوق آخر لم يتلق كثيراً من الاهتمام، والملاحظة، عندما أعلن سيف سوديربيرغ عنه، لكنه قدم أدلة حقيقية بعد عقود من ذلك. هذا الحيوان الثاني ذو الأطراف كتب له أن يظل لغزاً حتى عام 1988، عندما قامت زميلتي عالمة المستحاثات جيني كلاك (Jenny Clack)، التي قدمناها في بداية الفصل، بالرجوع إلى مواقع سيف سوديربيرغ، ووجدت مزيداً من مستحاثاته. هذا المخلوق، الذي سمي أكانثوستيجا غوناري (Acanthostega gunnari) في العشرينيات من القرن العشرين على أساس أجزاء سيف سودينبيرغ، كشف الآن عن أطراف تامة مع أصابع يدين وقدمين. ولكنه أيضاً حمل معه مفاجأة حقيقية. وجدت جيني أن الأطراف كان لها شكل زعنفة، تقريباً كتلك، التي لدى الفقمة. وقد أظهر لها هذا أن أول أطراف نشأت؛ لتساعد الحيوانات على السباحة لا على المشي. هذه الأدلة كانت بمثابة تقدم هام، ولكن بقيت هناك مشكلة. كان للأكانثوستيجا أصابع كاملة التشكل، مع

رسغ حقيقي، ودون شبكات زعنفية. كان للأكانثوستيجا طرفاً على الرغم من كونه بدائياً جداً. وكان، يجب أن يقوم البحث عن أصول الأيدي، والأقدام، والرسغ، والكاحل بسبر أعمق في الزمن. وهذا ما بقي عليه الحال حتى عام 1995.

إيجاد أصابع السمكة ورسغها

كنت وتيد ديستشلر (Ted Daeschler) في عام 1995، قد عدنا الآن إلى منزله في فيلادلفيا بعد قيادة السيارة في الطرق كلها عبر وسط بنسلفانيا في محاولة جاهدة؛ لإيجاد مقاطع طريق جديدة. وجدنا مقطع طريق جميل على الطريق 15 شمال ويليامسبورت (Williamsport)، حيث قامت وزارة المواصلات في بنسفليانيا بإنشاء جرف هائل في الصخور الرملية، التي يبلغ عمرها حوالي 365 مليون سنة. قامت الوكالة بتفجير الجرف الصخري، وتركت أكواماً من الجلاميد على جانب الطريق السريع، التي كان العديد منها تقريباً بحجم فرن ميكروويف صغير. لقد كانت تلك أرض رائعة للبحث عن المستحاثات بالنسبة لنا. بعضها احتوى على حراشف أسماك مبعثرة؛ لذلك قررنا أن نجلب بعضها معنا إلى فيلادلفيا. وعند وصولنا لمنزل تيد، جاءت ابنته ديزي (Daisy) وعمرها أربع سنوات راكضة إلينا؛ لرؤية أبيها، وسألت عما وجدناه.

وخلال عرض أحد هذه الجلاميد على ديزي، أدركنا فجأة أن زعنفة



زعنفتنا المعذّبة، من المحزن أننا لم نجد إلا هذه العينة المعزولة. تم استخدام الرسم التخطيطي المنقط، بعد أخذ الإذن من سكوت رولينز (Scott Rawlins)، جامعة أركاديا (Arcadia University). الصورة من التقاط المؤلف.

فضية تعود لسمكة كبيرة تبرز منه. ولم نكن قد انتبهنا لها تماماً في الحقل. وكما عرفنا لاحقاً، لم تكن تلك زعنفة لسمكة عادية، إذ كان من الواضح أنها تحتوي على العديد من العظام داخلها. قضى الأشخاص في المختبر حوالي شهر كامل في إزالة الزعنفة من الجلمود، وهناك ظهرت سمكة لها نمط أوين، كشف عنها لأول مرة. أقرب شيء كان للجسم هو

عظمة واحدة. هذه العظمة كانت متصلة بعظمتين أخريين. وكانت تخرج من الزعنفة للخارج ثماني عظام عصوية الشكل. وقد بدت هذه للعالم أجمع كسمكة لها أصابع.

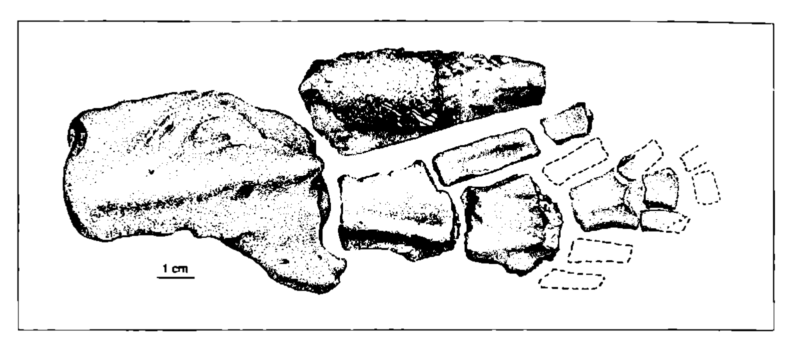
كان لزعنفتنا هذه مجموعة كاملة من الشبكات، والحراشف، وحتى كتف ككتف السمكة، وفي العمق، كانت هناك عظام تدل على وجود طرف «قياسي». لسوء الحظ، كان لدينا فقط زعنفة معزولة. إن ما كنا بحاجة إليه، هو إيجاد مكان يمكننا أن نستخرج منه أجساماً كاملة سليمة. لا يمكن لزعنفة واحدة منعزلة أن تساعدنا أبداً في الإجابة عن الأسئلة الحقيقية: لم كان هذا المخلوق يستخدم زعنفته؟ وهل كان للسمكة عظام، ومفاصل تعمل كما تعمل عظامنا ومفاصلنا؟ إن الإجابة عن هذه الأسئلة لا يمكن أن تتأتى إلا من هياكل عظمية كاملة.

وبالنسبة لهذا الاكتشاف، كان علينا أن نبحث عشر سنوات تقريباً. ولم أكن أول من أدرك ما كنا ننظر إليه. كان أول من أدرك ذلك اثنان من محترفي تجهيز المستحاثات، فريد ماليسون (Fred Mullison) وبوب ماسيك (Bob Masek). استخدم المحضرون أدوات الأسنان؛ لخدش الصخور، التي وجدناها في الحقل واكتشاف المستحاثات داخلها. يمكن أن يستغرق تحضير المستحاثات أشهراً، إن لم يكن سنوات؛ لتحويل جلمود مليء بالمستحاثات كهذا إلى عينة جميلة بجودة عينات بحثية.

جمعنا ثلاثة أكوام من الصخور خلال الحملة الاستكشافية للعام 2004، كل واحدة منها تقريباً بحجم حقيبة المتاع، وهي من الصخور

الديفونية في جزيرة إلزمير. وكل واحدة منها تحتوي على حيوان ذي رأس مسطحة: ذلك الذي وجدته في الثلج في قاع الحفرة، وعينة ستيف، وعينة ثالثة اكتشفناها في الأسبوع الأخير من الحملة الاستكشافية. وقمنا بإزالة كل رأس في الحقل، تاركين صخرة كافية سليمة حوله؛ لنستشكف في المختبر بقية الجسم. ثم تم لف الصخور بالورق اللاصق؛ لنقلها إلى الوطن. فتحُ هذه الأنواع من الأغطية اللاصقة في المختبر، أشبه بمواجهة كبسولة الزمن. إن أجزاء، ومقاطع حياتنا في التندرا القطبية (Arctic Tundra) موجودة تحتها، بالإضافة إلى ملاحظات الحقل والخربشات، التي وضعناها على العينة. حتى رائحة التندرا كانت تندفع من هذه الطرود، بينما كنا نقوم بشق الأشرطة اللاصقة؛ لفتحها.

كان فريد في فيلادلفيا وبوب في شيكاغو يحفرون على جلاميد مختلفة من الزمن نفسه عموماً. ومن أحد هذه القوالب القطبية، أخرج بوب عظمة صغيرة ما في زعنفة كبيرة لسمكة (لما نكن سميناها بالتكتاليك بعد). وما جعل هذه القطعة العظمية الصغيرة، التي تشبه المكعب من الزعنفة مختلفة عن أية عظمة زعنفة رأيناها من قبل، هو وجود مفصل في نهايتها به مساحة لأربع عظام أخرى. أي أن تلك العظمة بدت بشكل مرعب كعظمة الرسغ، ولكن الزعانف في القالب، الذي أحضره بوب لنا كانت مختلطة جداً على ما تخبرنا بذلك على وجه التأكيد. أتت القطعة الثانية من فيلادلفيا بعد أسبوع من هذا. كشف فريد– الساحر باستعمال أدوات الأسنان– زعنفة كاملة في هذا القالب. وفي المكان المناسب تماماً، عند نهاية عظام اليد الأمامية، كانت الزعنفة تحتوي على



عظام الزعنفة الأمامية للتيكتاليك – سمكة لها رسغ.

تلك العظمة. وكانت تلك العظمة متصلة بأربع عظمات أخرى تحتها، لقد كنا نحدق بأصل قطعة من أجسامنا داخل هذه السمكة، التي يبلغ عمرها 375 مليون عام. لدينا سمكة برسغ.

وخلال الأشهر التالية، كنا قادرين على رؤية كثير من بقية الأصابع. لقد كانت زعنفة من ناحية، ومن الناحية الأخرى طرفاً. لقد كان لسمكتنا تشبيك زعنفة، ولكن في الداخل كان هناك نسخة بدائية؛ لترتيب أوين، عظمة واحدة—عظمتان، العديد من العظام الصغيرة، وأصابع. وتماماً كما تنبأت نظرية داروين، في الوقت المناسب، وفي المكان المناسب، وجدنا مخلوقات وسيطة بين نوعين مختلفين ظاهرياً من الحيوانات.

كان إيجاد الزعنفة بداية الاكتشاف فحسب. لقد كانت قمة الفرحة لكل من تيد، وفاريش، وأنا في فهم ما فعلته الزعنفة، وكيفية عملها. وبتخمين سبب نشوء مفصل رسغي في المقام الأول. إن حلول هذه الأسئلة موجودة في العظام والمفاصل ذاتها.

عندما قمنا بتشريح زعنفة التيكتاليك، وجدنا شيئاً هاماً حقاً: كانت

أسطح المفصل جميعها محفوظة بشكل جيد جداً. كان للتيكتاليك كتف، ومرفق، ورسغ مكونة من العظام نفسها الموجودة في أعلى الذراع، والذراع الأمامية والرسغ لدى البشر. عندما قمنا بدراسة هذه المفاصل من أجل تقييم كيفية حركة العظام مع بعضها، وجدنا أن التيكتاليك كانت متخصصة لوظيفة غير عادية أيضاً: لقد كانت قادرة على أداء تمارين الرفع (Push-ups).

عندما نقوم بتمرين الرفع، تمتد يدانا بشكل مباشر على الأرض، ومرفقانا محنيان، ونستخدم عضلات صدرنا للتحرك صعوداً وهبوطاً. لقد كان جسد التيكتاليك قادراً على فعل هذا كله. كان المرفق قادراً على الانثناء كمرفقنا، والرسغ كان قادراً على الانثناء؛ لجعل راحة السمكة تنبسط مسطحة على الأرض. وبالنسبة لعضلات الصدر، يبدو أن التيكتاليك كان لديها منها الكثير. عندما نظرنا إلى الكتفين، والمنطقة تحت عظم الذراعين عند نقطة اتصال الكتف بالذراع، وجدنا قشوراً هائلة، وندوباً في المكان الذي كانت تتصل به العضلة الصدرية. لقد كانت التيكتاليك قادرة على «النزول والصعود عشرين مرة».

لكن لمَ قد ترغب سمكة ما بالقيام بتمرين الضغط هذا؟ قد يساعدنا هذا في تفحص بقية الحيوان. مع رأس مسطحة، وعينين في الأعلى، وأضلاع، كانت التيكتاليك على الأغلب مخلوقة للإبحار في قيعان الجداول، والبرك، وفي المستنقعات الضحلة، وحتى لتتخبط في السهول الطينية على الضفاف. إن وجود زعانف قادرة على دعم الجسم سيكون مفيداً جداً في الواقع لسمكة بحاجة للمناورة في تلك البيئات جميعاً.

إن هذا التفسير يناسب جيولوجية الموقع، الذي وجدنا فيه التيكتاليك أيضاً. فتركيب الطبقة الصخرية، ونمط الحبيبات الرملية في الصخور نفسها لها توقيع خاص برسوبيات، كانت أصلاً متشكلة بسبب جدول ضحل تحيطه سهول طينية موسمية واسعة.

ولكن لم تعيش في هذه الأماكن كلها؟ ما هذه السمكة المعتوهة لتترك الماء أو تعيش على الضفاف؟ فكر بهذا: الأسماك جميعا، التي تسبح في هذه الجداول، التي عمرها 375 مليون سنة كانت مفترسة نوعاً ما. وبعضها كان طوله يصل إلى ست عشرة قدماً، أي ما يقارب ضعف حجم أكبر تيكتاليك. أكثر أجناس الأسماك، التي نجدها إلى جوار التيكتاليك يصل طولها إلى سبعة أقدام، ولها رأس عريض بعرض كرة



نموذج كامل الحجم لجسد التيكتاليك (أعلى)، ورسم لزعنفتها (أسفل). هذه زعنفة بمكن للكتف، والرسغ الأولي فيها أن تقوم بنوع من الرفع للأعلى.

سلة. وكانت الأسماك بحجم مسامير سكة الحديد. فهل كنت لترغب بالسباحة في هذه الجداول القديمة؟

ليس مبالغاً فيه لو قلنا إن هذا العالم، كان يأكل فيه السمك بعضه. وكانت استراتيجيات البقاء في هذه الحالات واضحة، ليكن حجمك أكبر، احصل على درع، أو اخرج من الماء. ويبدو أن قدماء أسلافنا كانوا يتجنبون القتال.

ولكن تجنب الصراع عنى شيئاً أعمق بالنسبة إلينا. يمكننا أن نتتبع العديد من التراكيب في أطرافنا نحن؛ لنقارنها بزعانف هذه السمكة. قم بثني رسغك للوراء والخلف، أغلق يدك وافتحها. عندما تقوم بذلك، فأنت تستخدم المفاصل، التي ظهرت أول شيء في زعنفة أسماك كالتيكتاليك. وقبل ذلك، لم تكن هذه المفاصل موجودة. ولاحقاً وجدناها في الأطراف.

بالانتقال من التيكتاليك إلى البرمائيات وصولاً إلى الثدييات، يتضح لنا شيء واحد: أقدم كائن له عظام كعظام ذراعنا العليا، والذراع الأمامية، ورسغنا وكفنا، وله حراشف وزعانف وتشبيكات أيضاً. كان هذا المخلوق.

ما الذي نجنيه من مخطط عظمة واحدة–عظمتين– مجموعة من العظام الصغيرة – وأصابع، الذي عزاه أوين إلى خالق ما؟ بعض الأسماك، كسمكة الرئة، لها عظمة واحدة في القاعدة. سمكة أخرى مثل يوسثينوبتيرون لها ترتيب عظمة واحدة–عظمتين، ثم هناك مخلوقات كالتيكتاليك، لها عظمة واحدةً–عظمتان–ومجموعة عظام صغيرة. لم

يكن هناك سمكة واحدة فقط داخل أطرافنا، بل حوض من الأسماك. لقد كانت مخططات أوين تتجمع في الأسماك.

قد تكون التيكتاليك قادرة على أداء تمارين الضغط، ولكنها لم تكن لتتمكن من رمي كرة قدم، أو عزف البيانو، أو المشي على رجلين. إن الطريق من التيكتاليك إلى الإنسانية، لهو طريق طويل جداً. وإن الحقيقة الهامة المدهشة أحياناً، هي أن معظم العظام الرئيسية، التي يستخدمها الإنسان للمشي، والرمي، أو الإمساك، تظهر لأول مرة في حيوانات عاشت قبل عشرات، بل مئات ملايين السنين. إن أول أجزاء من أعلى ذراعنا وأرجلنا موجودة في سمكة يبلغ عمرها حوالي 380 مليون عاماً كسمكة يوسثينوبتيرون. تكشف التيكتاليك أولى مراحل التطور لرسغنا، وكفنا، ومنطقة أصابعنا. وأول أصابع يدين، ورجلين حقيقية شوهدت في برمائيات مثل الأكانثوستيجا التي عاشت قبل 365 مليون سنة. وأخيراً، الاكتمال التام لعظام الرسغ والكاحل وجدت في يد إنسان، أو قدم شوهدت في زواحف عاشت قبل أكثر من 25 مليون سنة. الهيكل العظمي الأساسي ليدينا، وأقدامنا نشأت على مدى مئات السنين، بداية في الأسماك، ولاحقاً في البرمائيات والزواحف.

ولكن ما هي التغييرات الرئيسية، التي تمكننا من استخدام أيدينا، أو المشي على رجلين؟ كيف نشأت هذه التحولات؟ لنلقِ نظرة على مثالين بسيطين من الأطراف؛ للحصول على بعض الإجابات.

نحن البشر، كالعديد من الثدييات الأخرى، يمكننا أن ندير إبهامنا بالنسبة لمرفقنا. هذه الوظيفة البسيطة مهمة جداً؛ لاستخدام أيدينا في

حياتنا اليومية. تخيل محاولة الأكل، أو الكتابة، أو رمي كرة دون القدرة على تدوير يدك بالنسبة لمرفقك. يمكننا أن نقوم بذلك؛ لأن عظمة عضد واحدة– الكعبرية– تدور على نقطة محورية في مفصل المرفق. تركيب مفصل المرفق مصمم بشكل رائع لهذه الوظيفة. في نهاية عظمة العضد في أعلى ذراعنا، توجد كرة. وتشكل نهاية العظم الكعبري المتصل هنا كوة جميلة تناسب الكرة. مفصل الكرة والكوة هذا يسمح لنا بتدوير يدينا، بوضعيتي الكب (Pronation) والقلب (Supination). أين نرى بدايات هذه القدرة؟ في مخلوقات كالتيكتاليك. في التيكتاليك، نهاية الكعبرة تشكل نتوءاً مستطيلاً مثبت في مفصل يشبه الكأس على العضد. عندما كانت التيكتاليك تحني مرفقها، كانت نهايةً كعبرتها تدور، أو تكب بالنسبة إلى المرفق. وتظهر تحسينات على هذه القدرة في البرمائيات والزواحف، حيث تصبح نهاية الكعبرة كرة حقيقية، تشبه تلك الموجودة لدينا نحن البشر.

وبالنظر الآن إلى الأطراف الخلفية، نجد سمة رئيسية تعطينا القدرة على المشي، وهي قدرة نتشارك بها مع ثدييات أخرى. فعلى النقيض من الأسماك، والبرمائيات، تتخذ مرافقنا وركبنا اتجاهين متعاكسين. هذه السمة هامة جداً: فكر بمحاولة المشي، وعظام الركبتين لديك إلى الخلف. نجد حالة مختلفة جداً في الأسماك مثل يوسثينوبتيرون، فهناك ما يكافئ ركبنا ومرافقنا تتخذ إلى حد كبير الاتجاه ذاته. نحن نبدأ تطورنا بأطراف صغيرة كتلك الموجودة في سمكة يوسثينوبتيرون، حيث تتخذ الركبتين والمرفقين الاتجاه ذاته. وبينما نكبر في الرحم، تبدأ ركبنا ومرافقنا

بالدوران؛ لتعطينا الشكل الذي نرى عليه الإنسان هذه الأيام.

إن نمط المشي على قدمين لدينا يستخدم حركات عظام أفخاذنا، وركبنا، وكواحلنا، وأقدامنا؛ لتسحبنا للأمام في وقفة مستقيمة للأعلى على النقيض من الوضعية المتمددة لكائنات كالتيكتاليك. ومن الاختلافات الكبيرة موضع فخذينا. إنّ أرجلنا لا تمتد جانبياً كتلك الموجودة في التمساح، أو البرمائيات، أو الأسماك؛ بل هي تمتد للأسفل تحت جسمنا. هذا التغير في الوضعية جاء بسبب تغيرات في مفصل الورك، والحوض، وأعلى الرِّجل؛ لقد أصبح حوضنا أشبه بالقصعة، وأصبحت كوة الورك أكثر عمقاً، واكتسبت عظمة الفخذ عنقها المميز، السمة التي تمكنها من الخروج تحت الجسم بدلاً من الخروج إلى الجانبين.

هل تعني حقائق تاريخنا القديم أن الإنسان ليس خاصاً أو متفرّداً من بين المخلوقات الحية؟ طبعاً لا. في الحقيقة، إن معرفة شيء حول الأصول السحيقة للإنسانية تضيف لحقيقة وجودنا المتميز فحسب، إن قدراتنا جميعها الخارقة، نشأت من مكونات أساسية تطورت في الأسماك، والمخلوقات الأخرى القديمة. من الأجزاء المشتركة جاء عالم فريد، فنحن جزء منه حتى العظم، وكما سنرى بعد قليل، حتى في جيناتنا.

وبالرجوع إلى الماضي، اللحظة التي رأيت فيها رسغ سمكة، كانت ذات معنى تماماً كاللحظة، التي قمت بها لأول مرة بفك الشاش عن أصابع الجثة في مختبر تشريح الإنسان. ففي كلا المرتين، كنت أكتشف عن صلة عميقة بين إنسانيتي وكائن آخر.

الفصل الثالث

الجينات المفيدة

بينما كنت وزملائي ننقب عن أول تيكتاليك في القطب الشمالي في يوليو من عام 2004، كان راندي دان (Randy Dahn)– أحد الباحثين في مختبري– يتصبب عرقاً في الجانب الجنوبي من شيكاغو، وهو يقوم بتجارب على أجنة القرش (Sharks)، والقرش المفلطح (Skates) وهي ابنة عم سمك الراي اللاسع (Stingrays). ربما رأيت أكياساً سوداء صغيرة– تعرف بمحفظة الحورية (Mermaid's purses)– على الشاطئ داخل هذه الأكياس، وما أن تضع بيضة بمح، التي تطورت لتصبح جنيناً للقرش المفلطح أو الراي. وعلى مر السنين، قضى راندي؛ مئات الساعات بختبر هذه الأجنة داخل تلك الأكياس، حتى ساعات متأخرة بعد منتصف الليل أحياناً. خلال الصيف المنقضي لعام 2004، كان راندي يأخذ هذه الأكياس، ويحقن نسخة جزيئية من فيتامين أ في البيض. وبعد ذلك، كان يدع البيوض تتطور لعدة أشهر حتى تفقس.

قد تبدو تجاربه طريقة غريبة لقضاء أفضل أوقات السنة، عدا عن كونه عالماً يافعاً في مقتبل مهنة علمية. لَمَ أسماك القرش؟ ولَمَ نوع من فيتامين أ؟

لكي نفهم هذه التجارب، علينا أن نرجع قليلاً إلى الوراء ونلقي

نظرة على ما نأمل أن تفسره. إن ما نصل إليه حقاً في هذا الفصل هو الخلطةrecipe، المسجلة في حمضنا النووي، الذي يبني أجسداناً من بويضة واحدة. عندما يقوم حيوان منوي بتلقيح بويضة، لا تحتوي تلك البويضة على يد صغيرة مثلاً. بل تبنى تلك اليد وفقاً لمعلومات موجودة في تلك الخلية الوحيدة. إن هذا يقودنا إلى مشكلة حتمية. أول أمر أننا قارنا عظام يدينا بعظام زعنفة سمكة. ماذا سيحصل لو قمنا بمقارنة الخلطة الجينية، التي تبني أيدينا بتلك التي تبني زعنفة السمكة؟ للحصول على إجابات لهذا السؤال، سوف نتتبع أثر اكتشاف يقودنا من أيدينا إلى زعنفة القرش، وحتى جناحي الذباب.

كما رأينا سابقاً، عند اكتشفانا لمخلوقات تكشف نسخاً مختلفة، وغالباً أبسط من أجسامنا في داخلها، تتفتح لنا نوافذ مذهلة مباشرة على الماضي السحيق. ولكن هناك قيد كبير للعمل على المستحاثات. لا يمكننا أن نقوم بعمل تجارب على حيوانات ماتت منذ زمن بعيد. إن التجارب رائعة؛ لأن بإمكاننا حقاً أن نتلاعب بشيء ما لرؤية النتائج. لهذا السبب، انقسم مختبري مباشرة إلى نصفين: الأول مكرس للعمل بالمستحاثات، والآخر للعمل على الأجنة والحمض النووي. يمكن أن تكون الحياة في مختبر ما فصامية. إن الخزانة المقفلة، التي تحوي عينات التيكتاليك تقبع إلى جانب المجمدة، التي تحوي عينات الحمض النووي الثمينة.

وإن للتجارب على الحمض النووي قدرات هائلة على كشف الأسماك فينا. ماذا لو كان باستطاعتك أن تقوم بتجربة تعامل بها جنين

سمكة ما بكيماويات متنوعة وتغير جسده حقاً، جاعلاً جزءاً من زعنفته يبدو كاليد؟ وماذا لو استطعت أن تبين أن الجينات، التي تبني زعانف السمك هي افتراضياً نفسها تلك التي تبني أيدينا؟

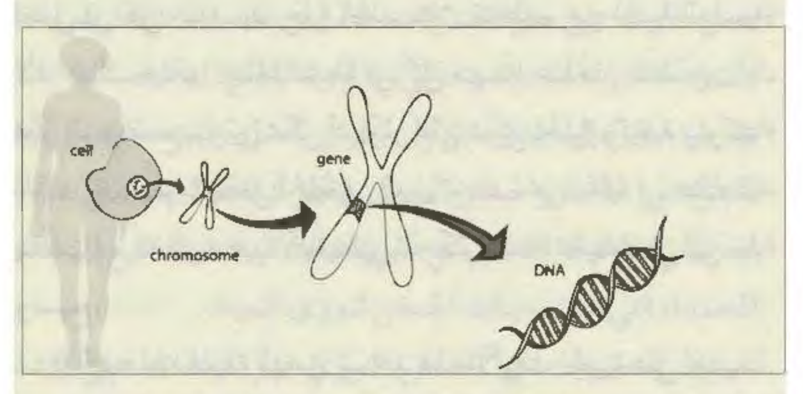
نبدأ هنا بلغز ظاهر. إن جسمنا مكون من مئات الأنواع المختلفة من الخلايا. وهذا التنوع الخليوي يعطي لأنسجتنا وأعضائنا أشكالها ووظائفها المميزة لها. وكما يبدو فإن الخلايا، التي تكون عظامنا، وأعصابنا، وأمعاءنا وما إلى ذلك لها أشكال وسلوكات متباينة تماماً. وعلى الرغم من هذه الاختلافات، فإن هناك تشابهاً عميقاً بين جميع الخلايا داخل أجسامنا: التي تحتوي جميعاً الحِمض النووي ذاته. وإذا كان الحمض النووي يحتوي على المعلومات اللازمة؛ لبناء أجسامنا، وأنسجتها، وأعضائها، فكيف يكون لخلايا متباينة كخلايا العضلات، والأعصاب، والعظام أن تحتوي على الحمض النووي ذاته؟

إن الإجابة تكمن في معرفتنا أي أجزاء الحمض النووي (الجينات) تعمل في كل خلية. إن خلية الجلد مثلاً، تختلف عن الخلية العصبية؛ لأن هناك جينات مختلفة نشطة في كل منهما. عندما ينشط جين ما، فهو يقوم بصنع بروتين يمكن أن يؤثر على شكل الخلية وكيفية سلوكها؛ لذلك فإن فهم ما يجعل الخلية في العين تختلف عن الخلية في عظام اليد يتطلب معرفة المزيد عن الآلية، التي تتحكم بنشاط الجينات في كل خلية ونسيج.

إليكم هذه الحقيقة الهامة: تساعد هذه الآليات الجينية على تصنيعنا. عند الإخصاب نبدأ كخلية مفردة تحتوي على جميع الحمض النووي

الضروري لبناء أجسامنا. ويكون مخطط بناء الجسم كله موجوداً ضمن هذه الخلية المجهرية. وللانتقال من هذه الخلية العامة إلى إنسان كامل، يحتوي جسده على تريلليونات الخلايا المتخصصة المنظمة بالشكل الصحيح تماماً، يجب تنشيط مجموعات كاملة من الجينات، وتثبيطها في المراحل المختلفة من تطورنا. وكما هي الحال في كونشيرتو (Concerto)، فهو مكون من نوتات منفردة يتم عزفها بآلات مختلفة، فإن جسمنا عبارة عن تكوين من الجينات المنفردة، التي تعمل وتتوقف عن العمل داخل كل خلية خلال التطور.

إن هذه المعلومة نعمة للعاملين على فهم الأجسام؛ لأن بإمكاننا الآن أن نقارن نشاط الجينات المختلفة؛ لتقييم أنواع التغيرات، التي تحصل في نشأة أعضاء جديدة. لنأخذ الأطراف على سبيل المثال. عندما نقارن مجموعة الجينات النشطة في تطور زعنفة سمكة ما، بتلك النشطة في تطور يد الإنسان، يمكننا أن نضع تصوراً للاختلافات الجينية بين



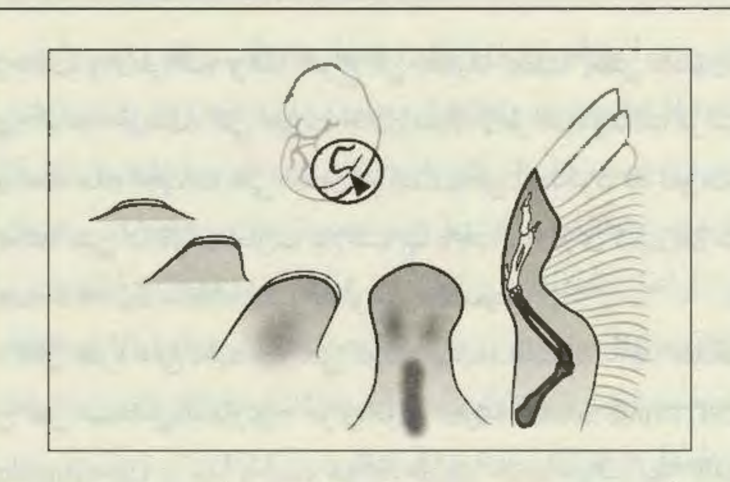
الجينات عبارة عن خيوط من الحمض النووي الموجود في كل خلية من أجسامنا.

الزعانف والأطراف. وهذا النوع من المقارنة يعطينا بعض المذنبين، أي: آليات الجينات، التي تغيرت خلال نشأة الاطراف. ويمكننا دراسة ما تفعله هذه الجينات على الجنين، وكيف يمكن أن تكون قد تغيرت. ويمكننا حتى أن نقوم بتجارب نتلاعب بها بالجينات؛ لنرى كيف تغيرت أجسامنا فعلاً كاستجابة لظروف أو مثيرات معينة.

لنلق نظرة على الجينات، التي كونت أيدينا، علينا أن نأخذ صفحة من نص المسلسل التلفازي- تحري موقع الجريمة (CSI, Crime Scene Investigation) – نبدأ بالجسم ثم نجد طريقنا عبره. سوف نبدأ بإلقاء النظر على تركيب أطرافنا، ثم نقوم بالتكبير حتى نصل للأنسجة والخلايا والجينات التي تكونها.

صنع اليدين

توجد أطرافنا في ثلاثة أبعاد: فلها قمة وقاع، وجانب الخنصر وجانب إبهام، وقاعدة وحافة. فالعظام عند الحواف، أي عندَ أصابعنا، تختلف عن العظام عند الكتف. ومثل ذلك، فإن أيدينا تختلف من جانب لآخر. فالخنصر يتشكل بشكل مختلف عن تشكل الإبهام. إن الكأس المقدسة لأبحاثنا التطورية تتضمن فهم ما هي الجينات، التي تقوم على تمايز مختلف عظام أطرافنا، وما يتحكم بتطور هذه الأبعاد الثلاثة؟ وما هو الحمض النووي، الذي يقوم حقاً بجعل منطقة الخنصر مختلفة عن الإبهام؟ ما الذي يجعل عظام أصابعنا تتميز عن عظام ذراعنا؟ إن



تطور الطّرف، في هذه الحالة جناح دجاجة. المراحل الأساسية جميعها في تطور هيكل الجناح حدثت داخل البيضة.

أمكننا أن نستوعب الجينات، التي تتحكم بمثل هذه الأنماط، ستتمكن من إدراك الخليط الذي بنانا.

إن المفاتيح جميعها الجينية، التي تقوم على صنع أصابع اليد، وعَظم الذراع، وأصابع القدمين، تقوم بعملها هذا خلال الأسبوع الثالث إلى الثامن بعد الإخصاب. تبدأ الأطراف تطورها بوصفها براعم صغيرة تمتد من أجسامنا الجنينية. تنمو هذه البراعم على مدى أسبوعين، حتى تكون قممها مجدافاً صغيراً. وداخل هذا المجداف تقبع ملايين الخلايا، التي سوف تعطي الهيكل، والأعصاب، والعضلات التي ستبقى معنا طيلة حياتنا.

لدراسة كيفية نشوء هذا النمط، يجب علينا إلقاء نظرة على الأجنة، وأحياناً التدخل بتطورها؛ لتقييم ما يحدث لو ساءت الأمور. إضافة

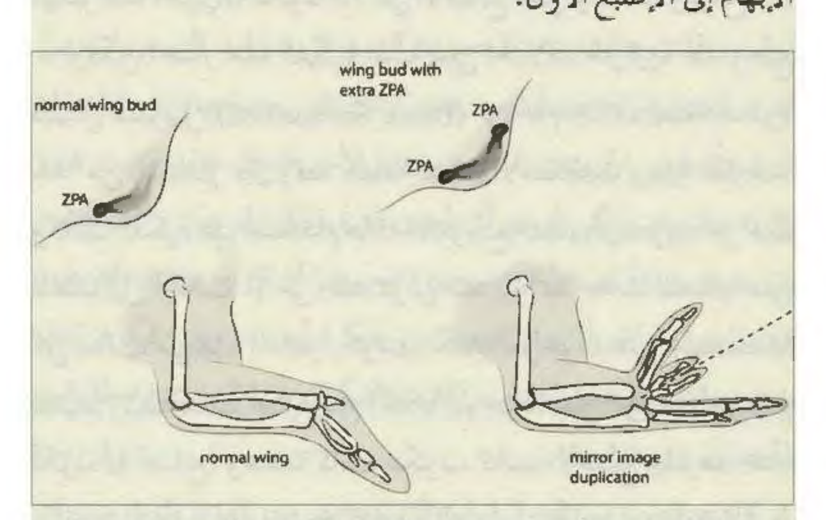
لذلك، علينا أن نلقي نظرة على الكائنات الطافرة (Mutants) وتراكيبها الداخلية وجيناتها، وهذا يتم عادة بإنتاج مجتمعات طافرة عن طريق التناسل الدقيق. وكما هو واضح لا يمكننا دراسة البشر بهذه الطرق. لقد كانت التحديات، التي تواجه الرواد في هذه الحقول هو إيجاد حيوانات يمكن أن تكون نافذة على تطورنا نحن البشر. لقد واجه أوائل علماء الأجنة التجريبيين في الثلاثينيات، والأربعينيات من القرن العشرين مشاكل عدة. فقد كانوا بحاجة إلى كائن يمكن الوصول إلى أطرافه حتى يتمكنوا من مشاهدتها، وإجراء التجارب عليها. ويجب أن يكون الجنين كبيراً نسبياً؛ ليتمكنوا من إجراء عمليات جراحية عليه. ومن الأهمية بمكان أن ينمو الجنين في مكان محمي، في وعاء يحميه من الاحتكاك، وغيرها من المزعجات البيئية الأخرى. ومن الضرورة بمكان أيضاً أن يكون الجنين متوفراً طوال السنة. إن الحل الواضح لهذه الحاجة العلمية موجود في دكاكين البقالة: بيض الدجاج. ففي الخميسنيات والستينيات من القرن العشرين، قام عدد من علماء الأحياء بمن فيهم إدغار زويلينغ (Edgar Zwilling)، وجون ساندرز (John Saunders) بإجراء تجارب مبدعة غير اعتيادية على بيض الدجاج، لفهم كيفية تشكل نمط الهيكل العظمي. لقد كان ذلك عهد التشريح والتقطيع (Slice and Dice). كانت الأجنة تقطع وكانت الأنسجة المختلفة تزال لرؤية أثر ذلك على التطور. لقد تضمن هذا التوجه جراحات دقيقة جداً، تتلاعب بمجموعات من الأنسطة لا تزيد سماكتها عن ملم واحد. وبإزالة الأنسجة حول الأطراف المتطورة، كشف ساندرز

وزويلنغ بعض الآليات الأساسية، التي تبني الأطراف المختلفة كأجنحة الطائر، وزعانف الحيتان، وأيدي الإنسان.

لقد اكتشفا أن مجموعات صغيرة جداً من الأنسجة، تتحكم بتطور نمط العظام داخل الطرف. خط واحد من الأنسجة على النهاية البعيدة من برعم الطرف ضرورية؛ لتطور الطرف كاملاً. قم بإزالتها، وسوف يتوقف النمو. قم بإزالتها مبكراً وسنبقى دون ذراع عليا، أو بجزء من الذراع. قم بإزالتها بوقت متأخر، وسوف نصبح بذراع علوية، وذراع أمامية. أما إذا أزلتها في وقت متأخر أكثر، فسوف ينتهي بنا الأمر بذراع مكتملة، ولكن بأصابع قصيرة أو مشوهة.

قادت تجربة أخرى قامت بها ماري جاسلينغ (Mary Gasseling) في مختبر جون ساندرز إلى مسار جديد قوي من البحوث. أخذت بقعة صغيرة من الأنسجة من المكان، الذي يفترض به أن يصبح الخنصر من البرعم الطرفي، في وقت مبكر من التطور، وأعادت زراعته في الجانب المعاكس، تماماً تحت المكان، الذي سيتطور فيه الإصبع الأول. تركت الصوص يتطور وينمو له جناح. لقد كانت النتيجة مذهلة للجميع. تطوّر الجناح بشكل طبيعي، عدا أنه كان لديه عدد مضاعف من المجموعة الأصابع أيضاً. والأمر الأكثر أهمية هو نمط الأصابع، لقد كانت الأصابع الجديدة صورة مرآة للمجموعة الطبيعية. ويتضح أن بقعة النسيج المزروعة، جزيء ما أو جين ما فيها، كان قادراً على توجيه التطور لنمط الأصابع. لقد أطلقت هذه النتيجة عاصفة كبيرة من التجارب الجديدة، وتعلمنا منها أن هذا الأثر يمكن تقليده بوسائل

أخرى عدة. فمثلاً لو أخذنا جنين دجاجة، ورطبنا برعم طرفه بفيتامين أ أو حقنا الفيتامين داخل البيضة، وتركنا الجنين ليتطور. إذا وفرنا فيتامين أ بالتركيز الصحيح، وفي المرحلة المناسبة، سوف نحصل على عدد مضاعف من الأصابع كصورة مرآة، وهي النتيجة نفسها، التي حصل عليها جاسلنغ، وساندرز وزويلينغ من تجارب نقل البقع النسيجية. لقد سُمّيت هذه البقعة النسيجية بمنقطة نشاط الاستقطاب (Zone of polarizing activity) (ZPA). إن هذه المنطقة هي بقعة نسيجية تجعل الخنصر يختلف عن جانب الإبهام. وكما هو واضح ليس للصيصان خنصر ولا إبهام. وإن المصطلح مستخدم هنا فقط؛ لترقيم الأصابع، فيشير الخنصر لدينا إلى الإصبع الخامس لدى الحيوانات الأخرى، ويشير الإبهام إلى الإصبع الأول.



نقل بقعة صغيرة من النسيج، تسمى منطقة نشاط الاستقطاب يسبب تضاعف الأصابع.

لقد اجتذبت منطقة نشاط الاستقطاب هذه كثيراً من الاهتمام؛ لأنها بدت- بشكل أو بآخر- منطقة تتحكم بتكوين أصابع اليدين والرجلين. ولكن كيف؟ اعتقد البعض أن الخلايا في منطقة نشاط الاستقطاب تصنع جزيئاً، ينتشج بعدها عبر الطرف؛ لإصدار تعليمات للخلايا بتكوين الأصابع المختلفة. وكانت الفرضية الرئيسية: هي أن تركيز ذلك الجزيء، الذي لا اسم له هو العامل المهم. وفي المناطق القريبة من منطقة نشاط الاستقطاب، حيث يوجد تركيز كبير من هذا الجزيء، تستجيب الخلايا بتكوين الخنصر. وفي المكان المقابل لليد النامية- الأبعد عن منطقة نشاط الاستقطاب- ستستجيب الخلايا بتكوين إبهام. أما المناطق في الوسط، فستستجيب كل واحدة منها تبعاً لتركيز هذا الجزيء؛ لتكون كلاً من الأصابع الثاني والثالث والرابع.

ويمكن اختبار هذه الفكرة المبنية على اختلاف التركيز. فقد وضع دينيس سمربيل (Denis Summerbell) في عام 1979، قطعة صغيرة جداً من القصدير بين رقعة منطقة نشاط الاستقطاب وبقية الطرف. وكانت الفكرة هي استخدام هذا الحاجز لمنع انتشار أي جزيء من تلك المنطقة إلى الجانب الآخر. لقد درس سمربيل ما حدث للخلايا على كل جانب من هذا الحاجز. كوّنت الخلايا الموجودة على جهة منطقة تنشيط الاستقطاب أصابع، أم الخلايا الموجودة على الجهة الأخرى لم تُكوّن أية أصابع؛ وعندما كانت تتكون، كانت الأصابع مشوهة جداً. وكانت نتيجة هذا واضحة. كان هناك شيء ينتقل من منطقة تنشيط الاستقطاب، ويتحكم بكيفية تكوين الأصابع وشكلها؛ ولتحديد هذا

الشيء، احتاج الباحثون لسبر الحمض النووي.

وصفة الحمض النووي

ترك ذلك المشروع لجيل جديد من العلماء. ولم يتم الكشف عن التحكم الجيني لعملية منطقة تنشيط الاستقطاب، حتى التسعينيات من القرن العشرين، بعد أن أصبح متوفراً للعلماء تقنيات جزيئية جديدة.

لقد حصل اكتشاف هام في عام 1993، عندما بدأ مختبر كليف تابين (Cliff Tabin) في هارفارد بالبحث عن الجينات، التي تتحكم بعمل منطقة نشاط الاستقطاب. هذا الهدف كان الآليات التي أعطت لمنطقة نشاط الاستقطاب، قدرتها على جعل الخنصر مختلفاً عن الإبهام. وفي الوقت، الذي بدأت هذه المجموعة العمل في بدايات التسعينيات من القرن العشرين، قادت تجارب عدة كتلك التي وصفتها، إلى الاعتقاد أنّ نوعاً ما من الجزيئات قد سبب هذا الأمر كاملا. فلقد كانت هذه نظرية عظيمة، ولكن لم يدر أي أحد ماهية ذلك الجزيء. وكان الناس يقترحون جزيئاً تلو الآخر؛ ليجدوا فحسب أن لا جزيء مما اقترحوا قام بالمهمة. وأخيراً، جاء مختبر تابين بفكرة أصيلة، وهي فكرة ذات صلة قوية بمنهج هذا الكتاب. كانت الفكرة، هي البحث في الذباب للحصول على الإجابة.

كانت التجارب الوراثية في الثمانينيات من القرن العشرين، قد قادت إلى الكشف عن النمط المدهش للنشاط الجيني المسؤول عن بناء

جسم الذبابة من بويضة أحادية الخلية. إن جسد ذبابة الفاكهة منظم من الأمام إلى الخلف، حيث الرأس في المقدمة، والأجنحة على الظهر. كانت مجموعات كاملة من الجينات تنشط أو تثبط خلال تطور الذبابة، وذلك النمط من نشاط الجينات مسؤول عن تمايز المناطق المختلفة من الذبابة.

لم يكن تابين على علم بذلك في ذلك الوقت، ولكن مختبرين آخرين - مختبر آندي ماكماهون (Andy McMahon)، ومختبر فيل إينجهام (Phil Ingham) - كانا قد خرجا فعلاً بالفكرة العامة نفسها بشكل مستقل. إن ما نشأ كان تعاوناً حقق نجاحاً مدهشاً لمجموعات المختبرات الثلاثة. لقد شدّ أحد جينات الذبابة انتباه كل من تابين، ومكماهون، وإينجهام. لقد لاحظوا أن هذا الجين المكون، كوّن نهاية واحدة من أقسام الجسم مختلفة عن النهاية الأخرى. وكان علماء جينات الذباب قد أسموه بالقنفذ (Hedgehog). أليست وظيفة الجين القنفذ في جسد الذبابة؛ لجعل منطقة مختلفة عن الأخرى، تبدو مثل ما تفعله منطقة نشاط الاستقطاب في تكوين الخنصر مختلفاً عن الإبهام؟ إن هذا التشابه لم يضع بين المختبرات الثلاثة. ولذلك، فقد أخذوا بالبحث عن الجين القنفذ في مخلوقات كالدجاج، والفئران، والأسماك.

لأن مجموعات المختبرات الثلاثة قد علمت تركيب الجين القنفذ في ذبابة الفاكهة، كان لديهم صورة يستخدمونها للبحث؛ لتساعدهم في تمييز الجين في الدجاج. إن لكل جين تسلسلاً مميزاً له، وهذا يمكّن الباحثين باستخدام الأدوات الجزيئية المناسبة، أن يمسحوا الحمض

النووي للدجاجة بحثاً عن تسلسل الجين القنفذ. وبعد العديد من المحاولات الفاشلة، وجدوا أخيراً الجين القنفذ في الدجاج.

وكما يقوم علماء المستحاثات بتسمية الأجناس الجديدة، فإن علماء الوراثة عليهم أن يطلقوا الأسماء على الجينات الجديدة. لقد أطلق علماء الوراثة، الذين اكتشفوا الجين القنفذ في ذبابة الفاكهة عليه هذا الاسم؛ لأن الذباب، الذي لديه طفرة في هذا الجين لديها شعيرات خشنة ذكرتهم بالقنفذ الصغير؛ لذلك قام تابين وماكماهون وإنجهام بتسمية هذا الجين في الدجاج بجين القنفذ الصوتي (Sonic Hedgehog)، على اسم لعبة الفيديو من سيجا جينيسيس (Sega Genesis).

والآن إلى السؤال الممتع: ما الذي يفعله هذا الجين فعلاً بالأطراف؟ قامت مجموعة تابين بوضع صبغة على جزيء يلتصق بالجين، مما أمكنهم أن يروا المكان، الذي يكون فيه الجين نشطاً في الطرف. فكانت دهشتهم شديدة؛ لأن الخلايا كانت في بقعة صغيرة فقط من الطرف تحتوي على جين نشط، منطقة نشاط الاستقطاب.

لذلك، أصبحت الخطوات التالية واضحة. أنماط نشاط الجين القنفذ يجب أن تحاكي تلك، التي تنتجها أنسجة منطقة نشاط الاستقطاب ذاتها. لنتذكر أنه عند معالجة الطرف بحمض الريتينويك (Retinoic acid)– أحد أشكال فيتامين أ– ينتج نشاط منطقة استقطاب على الجانب الآخر. خمّن إذاً ماذا يحصل إذا عالجنا طرفاً بحمض الريتينويك، ثم قمنا بتخطيط خريطة نشاط لجين القنفذ الصوتي؟ يصبح جين القنفذ الصوتي نشطاً في كلا الجانبين – الخنصر والإبهام – تماماً كما تفعل

منطقة نشاط الاستقطاب عندما يتم معالجتها بحمض الريتنويك.

لقد قدمت معرفة التركيب للباحثين الآخرين أدواتاً للبحث في كل شيء آخر له أصابع، من الضفادع إلى الإنسان. فكل الحيوانات، التي لها أطراف لديها جين القنفذ الصوتي. وفي كل حيوان درسناه، كان هذا الجين نشطاً في منطقة نشاط الاستقطاب. إن لم يتم تنشيط جين القنفذ الصوتي بشكل مناسب خلال الأسبوع الثامن من مراحل تطورك، فلربما كان لديك إما أصابع زائدة، أو أن خنصرك وإبهامك كانا ليبدوان متشابهين. أحياناً عندما يحصل خلل في هذا الجين، ينتهي الأمر في أن تصبح اليد كمجذاف عريض، مع ما يصل إلى اثني عشر إصبعاً تبدو جميعاً متشابهة.

نعرف الآن أن جين القنفذ هذا، هو أحد عشرات الجينات، التي تعمل على تشكيل أطرافنا من الكتف، وحتى أطراف الأصابع بنشاطها، وتثبيطها في الوقت المناسب. ومن الجدير بالملاحظة أن العمل في الدجاج، والضفادع، والفئران كان يخبرنا الأمر ذاته. إنّ وصفة الحمض النووي في أعلى الذراع، والذراع الأمامية، والرسغين، والأصابع متطابقه تقريباً في المخلوقات جميعها التي لها أطراف.

إلى أي زمن ماضٍ يمكننا أن نتتبع جين القنفذ الصوتي، وغيره من الأجزاء الأخرى من الحمض النووي، التي تعمل على بناء الأطراف؟ وهل هذه الأجزاء نشطة في بناء هيكل زعانف السمكة؟ أم أن الأيديَ تختلف وراثياً تماماً عن زعانف الأسماك؟ لقد رأينا السمكة بداخلنا في تشريح ذراعنا وأيدينا. فماذا عن الحمض النووي، الذي يعمل

على بنائها؟

يأتي هنا دور راندي داهن مع أكياس الحوريات.

إعطاء القروش أيد

دخل راندي داهن مختبري بفكرة بسيطة لكنها لامعة: عالج أجنة السمك المفلطح تماماً كما عالج كليف تابين بيض الدجاج. كان غرض راندي أن يقوم بجميع التجارب، التي قام بها علماء بيولوجيا الدجاج لكن على السمك المفلطح، من جراحات الأنسجة، التي قام بها ساندرز، وزويلينغ حتى تجارب تابين على الجينات. تتطور الأسماك ببيضة ذات نوع من القشور ولها مح. ويمكن أن يكون لها أيضاً أجنة كبيرة، كما هي الحال في الدجاج تماماً. وبسبب هذه الحقائق الملائمة، يمكننا أن نطبق العديد من الأدوات الوراثية، والتجريبية، التي طورها البشر؛ لفهم تطور الدجاج على القرش المفلطح.

ما الذي يمكننا أن نتعلمه بمقارنة تطور زعانف القرش مع تطور رجل الدجاجة؟ والأهم من ذلك، ما الذي سنتعلمه حول أنفسنا من هذا كله؟

إن أطراف الدجاج– كما أظهر ساندرز، وزويلنغ، وتابين– قريبة جدّاً لأطرافنا نحن البشر بشكل مدهش.

إن كل شيء تم اكتشافه من تجارب الجراحة، والزراعة، التي قام بها ساندرز وزويلينغ، وتجارب تابين على الحمض النووي تنطبق على

أطرافنا أيضاً: فنحن لدينا منطقة نشاط استقطاب، ولدينا جين القنفذ الصوتي، ولكلاهما دور في حياتنا. وكما رأينا، فإن منطقة نشاط استقطاب لا تعمل جيداً، أو طفرة في جين القنفذ الصوتي، يمكن أن تسبب تشوهات كبيرة في أيدي البشر.

لقد أراد راندي تحديد الاختلاف في هذا الجهاز عن نظيره، الذي يقوم ببناء أيدينا. وكم يبلغ عمق العلاقة بأنواع الحياة الأخرى؟ هل الوصفة التي تبني أيدينا جديدة، وهل لها جذور متأصلة في مخلوقات أخرى أيضاً ؟ وإن كان هذا صحيحاً، فما مدى عمق هذه العلاقة؟

إن أسماك القرش وأقربائها من الأسماك الأخرى، هي أقدم المخلوقات، التي لها زعانف مع هيكل عظمي داخلها. ففي الوضع المثالي– من أجل الإجابة على سؤال راندي– سيتحتم عليك جلب مستحاثات لقروش عمرها 400 مليون عام إلى المختبر، وتقوم بطحنها، ثم تبحث في التركيب الجيني لها. ثم سيتوجب عليك العمل على أجنتها المستحاثة؛ لتعرف إن كان جين القنفذ الصوتي ينشط في المكان نفسه، الذي ينشط به عموماً في أطرافنا اليوم. كادت هذه التجربة أن تكون رائعة، لكنها مستحيلة. فليس بإمكاننا أن نستخلص الحمض النووي من مستحاثات بهذا العمر، وحتى لو استطعنا، لن نتمكن من إيجاد أجنة هذه الحيوانات المستحاثة؛ لنجري عليها تجاربنا.

إن أسماك القرش الحية وأقربائها من الأسماك الأخرى، هي أفضل الخيارات اللاحقة. فلا يمكن لأي شخص أن يخلط بين زعنفة القرش ويد الإنسان: ولا يمكن أن تجد نوعين أكثر اختلافاً من هذين النوعين

من الأطراف. وليست الصلة بين القروش والإنسان بعيدة جداً فحسب، بل إن تركيب الهيكل العظمي لأطرافهما لا تشابه فيه. ولا يوجد حتى ما له صلة من بعيد بنمط أوين لعظمة واحدة – عظمتين – رسغ – أصابع داخل زعنفة القرش. إذ تبدو العظام داخل الزعنفة كالعصي، طويلة وقصيرة، وسميكة وعريضة. ونحن نسميها عظاماً رغم أنها مصنوعة من الغضاريف (أسماك القرش والقرش المفلطح تعرف باسم الأسماك الغضروفية؛ لأن هيكلها العظمي لا يتحول إلى عظام قاسية أبداً). إذا أردت أن تقيّم، فيما إذا كان دور جين القنفذ الصوتي في الأطراف مميزاً للحيوانات ذات الأطراف فقط، لم لا نختار جنساً مختلفاً تقريباً في كل شيء؟ إضافة لذلك، لم لا نختار الجنس، الذي يعد أكثر الأسماك الحية بدائية له أي نوع من الزوائد الطرفية المزدوجة، سواء أكان زعنفة أو طرفاً؟ إن أسماك القرش تناسب هذين المطلبين بشكل تام.

كانت مشكلتنا الأولى بسيطة. كنا بحاجة إلى مصدر موثوق لأجنة القرش والقرش المفلطح. لقد ثبت أن الحصول على القروش صعب بأية درجة من الانتظام، ولكن بالنسبة للقرش المفلطح– قريب القرش– كان الأمر مختلفاً. لذلك بدأنا بالقرش، واستخدمنا القرش المفلطح عند نضوب مصادرنا من القرش.

لقد وجدنا مزوداً أمكنه أن يشحن لنا كل شهر، أو شهرين عشرين، أو ثلاثين حقيبة بيوض تحتوي على الأجنة. فأصبحنا ونحن ننتظر وصول شحنتنا من حقائب البيض الثمنية كالمتيمين.

لقد وفر عمل مجموعة تابين وغيرها لراندي قرائن هامة للبدء ببحثه. فمنذ أبحاث تابين في عام 1993، وجد العلماء جين القنفذ الصوتي في عدد من الأجناس المختلفة، كالأسماك وحتى الإنسان. ومع توفر المعرفة الجيدة بتركيب الجين، كان راندي قادراً على بحث الحمض النووي للقروش، والقروش المفلطحة بحثاً عن هذا الجين. وفي وقت قصير، وجده: جين قنفذ صوتي لدى القرش.

كانت الأسئلة الرئيسية، التي تحتاج إلى إجابات هي أين ينشط هذا الجين؟ والأهم من ذلك، ما هي وظيفته؟

جاءت الفائدة من حقائب البيوض عندما كان راندي يقوم بالبحث عن مكان نشاط الجين وزمانه خلال تطور القروش المفلطحة. درس أولاً فيما إذا كان الجين ينشط في الوقت ذاته لدى القرش المفلطح، كما هي الحال في أطراف الدجاج. وكان ذلك ما يحدث. ثم درس فيما إذا كان ينشط في بقعة الأنسجة في الجهة الخلفية من الزعنفة، المنطقة المكافئة لخنصرنا. وكان ذلك ما يحدث أيضاً. والآن يقوم بتجاربه على فيتامين أ. لقد كانت هذه اللحظة الحاسمة. وإذا تمت معالجة طرف دجاجة، أو أحد الحيوانات الثدية بهذا المركب، فسوف تحصل على بقعة من النسيج بها نشاط لجين القنفذ الصوتي على الجانب الآخر، وهذه النتيجة يصحبها تضاعف في العظام. قام راندي بحقن البيضة، وانتظر ليوم أو اثنين، ثم فحصها؛ ليتأكد فيما إذا كان فيتامين أ قد سبب تنشيط الجين في الجانب الأخر من الطرف كما هو الحال في الدجاج. لقد سبب فيتامين أ تنشيط ذلك الجين في الجانب الأخر من الطرف.

لقد حصل ذلك. والآن جاء وقت الانتظار الطويل. لقد عرفنا أن جين القنفذ الصوتي يتصرف بالطريقة ذاتها في أيدينا، كما هي الحال في زعانف القروش والقروش المفلطحة. ولكن ماذا سيكون أثر ذلك كله على الهيكل العظمي؟ كان علينا الانتظار شهرين للحصول على الإجابة.

لقد كانت الأجنة تتطور داخل الحقائب البيضية الشفافة. وكل ما أمكننا معرفته خلال ذلك هو هل كان الجنين حياً أم لا؟ لقد كانت المنطقة الداخلية للزعنفة غير مرئية بالنسبة لنا.

لقد كانت النتيجة النهائية مثالاً مذهلاً على التشابه بيننا، وبين القروش والقروش المفلطحة: زعنفة تظهر وكأنها صورة مرآة. لقد ضاعفت الزعانف الظهرية تركيبها بنمط رائع من الأمام للخلف، وهو النوع نفسه، الذي رأيناه في التجارب على الأطراف. إن الأطراف تضاعف تركيب أطراف، وزعانف القرش تضاعف تركيب زعانف قرش، كما هي الحال في القرش المفلطح أيضاً. إن لجين القنفذ الأثر ذاته حتى في معظم الأنواع المتفاوتة من الهياكل ذات الزوائد الموجودة على وجه الأرض حتى يومنا هذا.

قد تتذكرون أن أحد آثار جين القنفذ الصوتي هو جعل الأصابع متميزة أحدها عن الآخر. وكما رأينا فيما يتعلق بمنطقة نشاط الاستقطاب، ما نوع الزوائد، التي تتطور اعتماداً على قرب الزائدة لمصدر الجين. تحتوي زعنفة قرش مفلطح بالغة طبيعية العديد من العصي الهيكلية، التي تبدو متماثلة جميعاً. فهل يمكننا أن نجعل هذه العصي

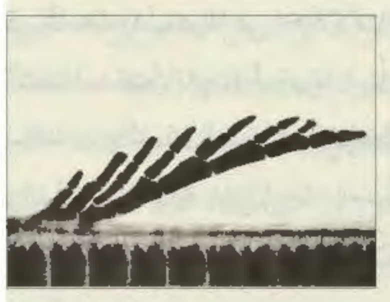
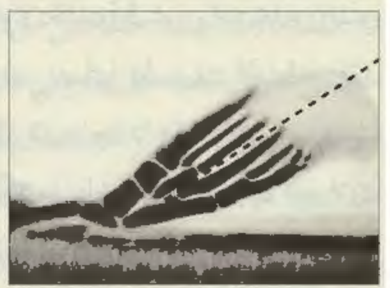
مختلفة إحداها عن الأخرى، كأصابعنا؟ أخذ راندي خرزة مغموسة بالبروتين، الذي يقوم جين القنفذ الصوتي بتصنيعه، ووضعها بين هذه العصي الهيكلية المتطابقة. كان الهدف في تجربته استخدام جين القنفذ الصوتي لدى الفأر؛ لذلك لدينا الآن بدعة حقيقية: جنين قرش مفلطح داخله خرزة تفرز بروتين جين القنفذ الصوتي من فأر بشكل بطيء. فهل سيكون لذلك البروتين أي أثر على القرش أو القرش المفلطح؟

هناك نتيجتان متطرفتان لمثل هذه التجربة: إحداهما أن لا يحدث شيء. وهذا سيعني أن القرش المفلطح مختلف جداً عن الفئران، وأن بروتين جين القنفذ الصوتي ليس له تأثير. والثانية ستكون مثالاً مذهلاً للسمكة داخلنا. ستكون النتيجة الثانية أن تتطور العصي هذه بحيث تختلف إحداها عن الأخرى، مظهرة أن جين القنفذ الصوتي لدى القرش المفلطح يشبه ذلك الموجود لدينا. ودعونا لا ننسى هنا أنه مع استخدام راندي للبروتين من حيوان ثدي، فهذا يعني أن الوصفة الوراثية ستكون متشابهة حقاً.

لم ينتهِ الأمر عند حدود اختلاف العصي عن بعضها الآخر فحسب، وإنما استجابت لبروتين الجين أيضاً بشكل مماثل لما تفعل الأصابع، على أساس قربها من مكان خرزة جين القنفذ الصوتي، كلما كانت العصي أقرب، كلما طورت أشكالاً مختلفة أكثر من التي تكون أبعد منها. ولتزيد الأمور إثارة، لقد كان بروتين الفأر هو ما قام بالمهمة بشكل فعال هكذا في القرش المفلطح.

لم تكن السمكة «الداخلية»، التي وجدها راندي عظمة واحدة،



زعانف طبيعية (يسار) وزعانف راندي المعالجة. تظهر الزعانف المعالجة تضاعفاً كصورة مرآة تماماً كما فعلت أجنحة الدجاج. تفضل بالصور راندال داهن، جامعة شيكاغو.

أو حتى مقطعاً في الهيكل العظمي. لقد كانت السمكة «الداخلية» لراندي تقبع في الأدوات البيولوجية التي بنت الزعانف. وأظهرت لنا تجارب تلتها أخرى على مخلوقات مختلفة كالفأر، وأسماك القرش، والذباب أن دروس جين القنفذ الصوتي عامة جداً. فالزوائد الطرفية جميعها، سواء أكانت زعانف أم أطرافاً، تبنى بالنوع نفسه من الجينات. ما الذي يعنيه هذا بالنسبة للمشكلة، التي ألقينا عليها النظر في الفصلين الأول، والثاني – تحول الزعانف إلى أطراف؟ إنها تعني أن هذا التحول التطوري العظيم لم يتضمن نشأة حمض نووي جديد: فمعظم التحول

تضمن استخدام جينات قديمة جداً، كتلك النشطة في تطور زعنفة القرش، بطرق جديدة؛ لتكوين الأطراف مع أصابع اليدين، وأصابع القدمين.

ولكن هناك جمال أكثر تجذراً في هذه التجارب، التي أجريت على الأطراف والزعانف. استخدم مختبر تابين العمل في الذباب؛ ليجد جيناً في الدجاج؛ ليخبرنا عن اختلالات ولادة لدى البشر. واستخدم راندي اكتشاف مختبر تابين؛ ليخبرنا شيئاً عن صلتنا بالسمك المفلطح. لقد ساعدت «الذبابة الداخلية» في إيجاد «دجاجة داخلية»، التي ساعدت راندي في النهاية على إيجاد «سمكة مفلطحة داخلية». إن الصلات بين المخلوقات الحية متأصلة تأصلاً عميقاً.

الفصل الرابع

الأسنان في كل مكان

لقد كان للأسنان حظٌّ قليل من الوقت في درس التشريح: فقد قضينا خمس دقائق كاملة عليها. وفي بانثيون (pantheon) الأعضاء المفضلة - سوف أترك لكل واحد منكم أن يعد قائمة خاصة به لها - نادراً ما تصل الأسماك إلى الخمسة العليا. ورغم ذلك، فإن هذه الأسنان الصغيرة تحتوي على كثير من المعلومات حول صلتنا ببقية الكائنات الحية، فيصعب فهم أجسامنا دون معرفة الأسنان. كما أن للأسنان أهمية خاصة بالنسبة لي؛ لأنه خلال بحثي عنها تعلمت للمرة الأولى كيف أجد المستحاثات، وكيفية إدارة رحلة استكشافية؛ للبحث عن المستحاثات.

إن مهمة الأسنان، هي تحويل الكائنات الأكبر إلى قطع أصغر. فعند اتصالها بفك متحرك، تقوم الأسنان بالتشريح، والتقطيع، والتمزيق. إن الأفواه ذات حجم محدد، والأسنان تمكن المخلوقات من أكل أشياء أكبر من أفواهها. وهذا صحيح بشكل خاص لدى الكائنات التي ليس لها أيد، أو مخالب تمكنها من تمزيق، أو تقطيع الأشياء قبل إيصالها إلى الفم. وصحيح أيضاً أن الأسماك الكبيرة تنزع إلى أكل الأسماك الصغيرة. ولكنّ الأسنان يمكن أن تشكل هنا عامل اتزان، فيمكن للأسماك

الصغيرة أن تتغذى على أسماك كبيرة إذا كان لديها أسنان جيدة. ويمكن للأسماك الصغيرة أن تستخدم أسنانها لكشط الحراشف، والتغذي على الجزيئات، أو تتناول مضغات كاملة من اللحم من أسماك أكبر.

يمكننا أن نتعلم كثيراً حول أي حيوان بالنظر إلى أسنانه فحسب. وغالباً ما تعكس النتوءات، والتجاويف، والحواف على الأسنان طبيعة الغذاء. فالحيوانات اللاحمة– كالقطط– لديها أضراس تشبه السيف؛ لتقطيع اللحم، بينما لآكِلات النبات فم مليء بالأسنان المسطحة، التي تمكنها من مضغ الأوراق والحبوب وطحنها. إن القيمة المعلوماتية للأسنان لم تكن خافية على علماء التشريح في التاريخ. لقد تفاخر عالم التشريح الفرنسي جورج كوفير (George Cuvier) بقدرته على إعادة تركيب هيكل حيوان كامل من سن واحدة. وكان هذا مبالغاً فيه قليلاً، ولكن الفكرة بشكل عام صحيحة؛ إن الأسنان تقدم تصوراً قوياً لنمط حياة الحيوان.

تكشف أفواه البشر أننا آكلات متعددة المهام، فلدينا العديد من أنواع الأسنان. فأسناننا الأمامية، القواطع، عبارة عن شفرات مسطحة متخصصة للقطع، وأسناننا الخلفية، الأضراس، أكثر انبساطاً، ولها نمط مميز يمكنه طحن الأنسجة النباتية، أو الحيوانية. أما الطواحن (premolars)، الموجودة بينهما، فهي ذات وظيفة وسيطة بين القواطع والأضراس.

إن أكثر شيء يسترعي الانتباه في أفواهنا، هو الدقة، التي نمضغ بها طعامنا. إذا فتحت فمك وأغلقته، فإن أسنانك تقترب من بعضها بالوضع نفسه دائماً، حيث تنطبق الأسنان العليا والدنيا معاً بشكل

دقيق؛ ولأن الحواف والمحيط والنتوءات العليا والدنيا تتطابق بشكل كبير، فإنه بإمكاننا أن نمضغ الطعام بكفاءة كبيرة. وفي الحقيقة، إن عدم التطابق بين الأسنان العلوية، والسفلية يمكن أن يؤدي إلى تحطم أسناننا، وإثراء طبيب الأسنان.

يجد علماء المستحاثات الأسنان مصدراً جيداً للمعلومات. فالأسنان هي أكثر أجزاء جسمنا صلابة؛ لأن المينا فيها تتضمن نسبة عالية من هيدروكسي أباتايت غير العضوي، وهي نسبة أعلى حتى مما يوجد في العظام. وبفضل صلابتها، فإن الأسنان غالباً ما تكون الجزء الأكثر قدرة على البقاء محفوظاً من بين الأجزاء، التي نجدها عادة في سجل المستحاثات للعديد من الفترات الزمنية. وهذا لحسن حظنا، وبما أن الأسنان تقدم قرائن جيدة حول طعام الحيوان، فإن سجل المستحاثات يمكن أن يقدم لنا منفذاً جيداً؛ للوصول إلى الطرق المختلفة، التي تتغذى بها الحيوانات. وهذا صحيح بشكل خاص في تاريخ الثدييات. وبينما للزواحف أسنان متشابهة، فللثدييات أسنان متميزة. إن جزء الثدييات في مساق المستحاثات يبدو غالباً كمساق مبادئ طب الأسنان.

إن الزواحف الحية كالتماسيح والسحالي، والأفاعي تفتقر إلى كثير من الأشياء، التي تجعل فم الثدييات فريداً. فأسنان التماسيح مثلاُ لها نفس شكل القاطع، والاختلاف الوحيد بينها هو أن بعضها كبير، وبعضها الآخر صغير. تفتقر الزواحف أيضاً إلى الإطباق الدقيق - التلاؤم بين الأسنان العليا والسفلى - الموجود لدى الإنسان والثدييات الأخرى. هذا إضافة إلى أنه بينما تبدل الثدييات أسنانها مرة واحدة فقط، فإن

الزواحف، تبدل أسنانها طيلة حياتها، مستبدلة الأسنان بشكل مستمر كلما تآكلت وانكسرت.

يظهر جزء أساسي جداً منا – طريقتنا نحن الثدييات بالمضغ الدقيق – في مستحاثات من جميع أنحاء العالم، يبلغ عمرها بين 225 مليون إلى 195 مليون سنة. عند القاعدة، في الصخور الأقدم، نجد عدداً من الزواحف، التي تبدو من الخارج كالكلب، وتمشي على أربع أرجل، ولها جماجم كبيرة، والعديد منها لها أسنان حادة. وهناك، ينتهي الشبه. فعلى النقيض من الكلاب، هذه الزواحف لها فك يتكون من عظام عديدة، وأسنانها في الواقع لا تنطبق بشكل جيد معاً. هذا إضافةً إلى أن أسنانها كانت تستبدل بطريقة الزواحف: ينمو سن جديد ويخرج آخر طيلة حياة الحيوان.

بالارتفاع قليلاً في الصخور نجد شيئاً مختلفاً تماماً: مظهر الثدييات. عظام الفك تصبح أصغر وتنتقل إلى الأذن. يمكننا أن نرى أول دليل على أن الأسنان العليا، والسفلى تنطبق معاً تماماً، وشكل الفك مختلف أيضاً: فما كان عبارة عن عصية بسيطة في الزواحف، أصبح يبدو أكثر كعظام مرتدة في الثدييات. وفي الوقت نفسه أيضاً، تستبدل الأسنان فقط مرة واحدة طيلة حياة الحيوان، تماماً كما هي الحال عندنا. ويمكننا أن نتتبع هذه التغييرات جميعها في السجل الأحفوري، خصوصاً من بعض المواقع المحددة في أوروبا، وجنوب أفريقيا، والصين.

تحتوي الصخور، التي يبلغ عمرها حوالي 200 مليون سنة على مخلوقات شبيهة بالقوارض، مثل: المورغانوكودون (Morganucodon)

واليوزوسترادون (Eozostradon)، التي كانت تبدو كالثدييات. هذه الحيوانات لا تزيد في الحجم عن الفأر، وتضم أجزاء منّا داخلها. إن الصّور لا يمكن أن تعكس كم كانت هذه الثدييات القديمة مدهشة. وبالنسبة لي، كانت مشاهدة مخلوقات مثلها للمرة الأولى أمراً مثيراً للحماس.

عندما دخلت كلية الدراسات العليا، رغبت في دراسة الثدييات الأولى. وقد اخترت هارفارد؛ لأن فاريش جينكينز، الذي تكلمنا عنه في الفصل الأول، يقود بعثات استكشافية في الغرب الأمريكي، كانت دائماً ما تجد صخوراً تحمل علامات على كيفية تطوير الثدييات؛ لقدراتها المميزة للمضغ. لقد كان العمل استكشافاً حقيقياً، لقد كان فاريش وفريقه يبحثون عن أماكن ومواقع جديدة، ولم يكونوا يعودون للأماكن، التي استكشفها آخرون. لقد جمّع فاريش مجموعة موهوبة من الباحثين عن المستحاثات، مشكلاً طاقماً من متحف هارفارد لعلم الحيوان المقارن (Harvard's Museum of Comparative Zoology)، وبضعة من المرتزقة المستقلين. ومن أبرزهم بيل أمارال (Bill Amaral)، وتشوك تشاف (Chuck Schaff)، والمرحوم ويل داونز (Will Downs). هؤلاء الناس هم من قدموني إلى عالم المستحاثات.

درس فاريش والفريق الخرائط الجيولوجية، والصور الجوية؛ لاختيار مناطق واعدة حيث يمكنهم أن يجدوا أحافير ثدييات قديمة. ثم– في كل صيف– كانوا يركبون شاحناتهم ويقصدون صحارى وايومنع (Wyoming)، وأريزونا (Arizona) ويوتاه (Utah). وفي الوقت، الذي

انضممت لهم فيه، في عام 1983، كانوا قد وجدوا عدداً من الثدييات الجديدة، ومواقع المستحاثات الهامة. لقد ذهلت بقدرة التنبؤات: فبفضل قراءة المقالات والكتب العلمية، تمكن فريق فاريش من المواقع المحتملة، وغير المحتملة؛ لإيجاد أول الثدييات.

إن تعميدي في حقل علم المستحاثات جاء من الخروج في صحراء أريزونا مع تشاك وبيل. ففي البداية، بدت تلك المهمات عشوائية تماماً. وقد توقعت شيئاً أشبه بالحملات العسكرية، استكشاف منظم ومنسق للمنطقة. وما رأيته بدا عكس ذلك تماماً. كان الفريق يستقر على بقعة معينة من الصخور، وكان الباحثون ينتشرون في كل اتجاه يمكنهم البحث فيه عن أجزاء من العظام على السطح. خلال الأسابيع القليلة الأولى من الرحلة تركوني وحيداً. وكنت أبدأ البحث عن المستحاثات، فاحصاً كل صخرة أراها بشكل منظم بحثاً عن أية كسرة عظم على السطح. وفي نهاية كل يوم، كنا نرجع؛ لنعرض ما وجدنا من أشياء. كان تشاك يحضر عدة حقائب من العظام. وكان بيل عادة يجلب ما يكمل ذلك، ويعود بشيء من الجماجم الصغيرة، أو أشياء أخرى. ولم أكن أحصل على شيء، وحقيبتي الفارغة تذكير حزين لما ينبغي أن أتعلمه.

بعدَ بضعة أسابيع من ذلك، قررت أنه من الجيد أن أمشي مع تشاك. لقد بدا أنه صاحب أكثر الحقائب امتلاءً؛ لذلك، لم لا أتعلم بعض الأشياء من الخبير؟ لقد كان تشاك سعيداً بالمشي معي، وشرح خبرته الطويلة في علم المستحاثات العملي. لقد كان تشاك بمظهر غرب تكساس مع بهرجة بروكلين: حذاء رعاة بقر، وقيم غربية

مع لكنة نيويوركية. وبينما كان يمتعني بأخبار رحلاته الاستكشافية السابقة، وجدت التجربة كلها متواضعة. أولاً، لم يكن يتفحص كل الصخور، وعندما كان يختار واحدة، لعمري لم أكن أعرف لماذا. ثم كان هناك جانب مثير للحرج في هذا كله: لقد ألقينا النظر أنا وتشاك على بقعة الأرض نفسها. ولم أتمكن من رؤية شيء سوى الصخور – أرض صحراء قاحلة. بينما كان تاشك يرى أسناناً وفكوكاً، وحتى قطعاً من الجماجم.

كانت الصور الجوية ستظهر شخصين يمشيان وحيدين في وسط سهل لا حدود له، حيث يمتد أفق الجبال والهضاب والأرض السيئة الصخرية الرملية المغبرة لأميال. ولكننا أنا وتشاك كنا نحدق بالأرض فقط، وبالأنقاض والمنحدرات الموجودة في قاع الصحراء. لقد كانت المستحاثات، التي بحثنا عنها صغيرة، لا يزيد طولها عن بضع بوصات، وكانت وكان عالمنا هذا صغيراً جداً. إن هذه البيئة الحميمية قد صمدت بشكل واضح جداً في رحابة المنظر الصحراوي البانورامي المحيط بنا. لقد شعرت وكأن رفيقي هذا هو الشخص الوحيد على وجه الأرض، وأن وجودي كله مرتكز على قطع من الأنقاض.

لقد كان تشاك بالغ الصبر معي، بينما كنت أضايقه بالأسئلة عن الجزء الأفضل في نزهة كل يوم. فقد أردت منه أن يصف لي تماماً كيف أجد العظام. ومرة تلو الأخرى، كان يخبرني أن أبحث عن شيء مختلف، شيء يبدو كعظمة ذراع، وليس قطعة من الصخر الرملي. وقد بدا ذلك سهلاً، لكنني لم أتمكن من إدراك ما كان يخبرني به. ومع كثرة محاولاتي،

إلا أنني كنت أرجع كل يوم خالي الوفاض. ولقد كان الأمر الآن أكثر إحراجاً بينما كان تشاك، الذي كان يبحث في الصخور ذاتها، يعود كل يوم بحقيبة تلو الأخرى.

وأخيراً، في أحد الأيام رأيت أول قطعة من الأسنان تلمع تحت أشعة شمس الصحراء. لقد كانت موجودة في بعض أنقاض الصخور الرملية، لكنها كانت هناك واضحة كضوء النهار. لقد كان للمينا بريق ليس موجوداً بأية صخرة أخرى، لقد كان يختلف عن أي شيء رأيته سابقاً. حسناً ليس تماماً - لقد كنت أنظر إلى أشياء كل يوم. وكان الفرق هذه المرة هو أنني أخيراً رأيته، رأيت الفرق بين الصخور والعظام. لقد كان السن يلمع، وعندما رأيته يلمع وقع بصري على أطرافه. فقد كان السن المعزول كاملاً بحجم حجر النرد تقريباً، من غير الجذور، التي تمتد من قاعدته. بالنسبة لي كان بهياً كأكبر ديناصور في قاعات أي متحف.

وفجأة، تفجرت الصحراء بالعظام، حيث كنت لا أرى إلا الصخور، بدأت الآن برؤية أجزاء صغيرة وقطع من المستحاثات في كل مكان، وكأنني ارتديت نوعاً جديداً خاصاً من النظارات، ولدي مصدر ضوء كشاف، يلمع على كل القطع المختلفة من العظام. بجانب السن، كانت هناك قطع صغيرة من عظام أخرى، والمزيد من الأسنان الأخرى. لقد كنت أنظر إلى فك تعرض للحت والتعرية على السطح وبدأ بالتفتت. بدأت أعود ومعي حقائبي الصغيرة من العظام كل ليلة.

الآنَ وبعد أن بدأت أرى العظام بنفسي، ظهر لي أن ما كان يبدو سابقاً جهد مجموعة عشوائي هو جهد منظم تماماً. لم يكن الأشخاص

ينتشرون بشكل عشوائي في أرجاء الصحراء فحسب، وإنما كان هناك قواعد حقيقية غير معلنة. القاعدة الأولى: اذهب إلى أكثر الصخور الواعدة، مقيّماً إياها بأية صور بحث، أو قرائن بصرية اكتسبناها خلال خبرة سابقة، القاعدة الثانية: لا تتبع خطوات أي أحد، غط ببحثك أرضاً جديدة (لقد سمح تشاك بكرم أن أكسر قاعدته هذه). والقاعدة الثالثة: إذا كان مرجلك قد مر عليه غيرك من قبل، جد واحداً آخر، أو ابحث في موقع أقل احتمالاً. فمن يأتي أولاً هو من له الحق بالبحث.

مع مرور الوقت، بدأت أتعلم القرائن البصرية لأنواع أخرى من العظام: عظام طويلة، عظام فك، وأجزاء جمجمة. وما أن ترى هذه الأشياء، لا يمكن أن تفقد قدرتك على إيجادها. تماماً كما يتمكن صياد عظيم من قراءة وجه الماء، ورؤية الأسماك تحته لذلك فإن الباحث عن المستحاثات يستخدم دليلاً من صور البحث، التي تجعل المستحاثات تبدو كأنها تقفز من الصخور. لقد كنت أبدأ باكتساب انطباعاتي الخاصة عن مظهر العظام المستحاثة في الصخور المختلفة وفي ظروف إضاءة مختلفة. إن إيجاد المستحاثات في شمس الصباح مختلف جداً عن إيجادها في شمس الظهيرة، بسبب اختلاف انعكاس الضوء على الأرض.

وبعد عشرين سنة من ذلك، أعرف أن علي المرور بتجربة مشابهة في كل مرة أبحث فيها عن مستحاثات في مكان جديد، من الترياسية في الغرب إلى الدينوفية في جزيرة إلزمير. سأناضل خلال الأيام القليلة الأولى، غالباً كما حدث وأنا مع تشاك في أريزونا قبل عشرين عاماً.

والاختلاف الآن، هو أن لدي بعض الثقة أن صورة البحث سوف تظهر أمام ناظري في النهاية.

إن الهدف الكلي للتنقيب، الذي قمت به مع تشاك، هو إيجاد موقع يحتوي على عظام كافية؛ لإيجاد طبقة غنية بالمستحاثات التي يمكننا كشفها. وعند التحاقي بالطاقم، كان فريق فاريش قد اكتشف مثل هذه المنطقة من قبل، بقعة من الصخور بطول يقارب مائة القدم احتوت على هياكل عديدة لحيوانات صغيرة.

لقد كانت أحافير مستحاثات فاريش موجودة في شيء من الحجارة الطينية ذات الحبيبات الدقيقة. وكانت الخدعة بالعمل عليها، هي إدراك أن المستحاثات كانت تأتي من طبقة رقيقة واحدة، لا تزيد عن سمك ملم واحد. وأن تكشف السطح فحسب، يصبح لديك فرصة جيدة جداً؛ لرؤية العظام. لقد كانت صغيرة جداً لا يتعدى طولها البوصة أو البوصتين، سوداء اللون؛ لذلك بدت كأنها لطخات من الوحل على الصخور البنية. لقد تضمنت الحيوانات الصغيرة، التي وجدناها ضفادع (من الأنواع الأولى)، وبرمائيات بلا أرجل، وسحالي وزواحف أخرى، والأهم كان بعض الثدييات الأولى.

إن النقطة الأساسية، هي أن الثدييات الأولى كانت صغيرة. صغيرة جداً. ولم تكن أسنانها أكثر من مليمترين طولاً. ولرؤيتها، يتحتم عليك أن تكون حذراً، ومحظوظاً غالباً. وإذا كانت هذه الأسنان مطمورة ببعض التجمعات الصخرية، أو حتى ببعض حبيبات الرمل، فقد لا تراها أبداً.

لقد كان منظر هذه الثدييات الأولى هو ما جذبني فعلاً. لقد كنت أكشف طبقة المستحاثات، ثم أمسح السطح كاملاً باستخدام عدسة التكبير، التي تكبر الأشياء 10 مرات. لقد كنت أتفحص المنطقة كلها على يديّ وركبتي، وعيني، وعدستيّ لا تبتعدان أكثر من إنشين عن سطح الأرض؛ لذلك كنت منهمكاً. وغالباً ما كنت أنسى أين أنا، وأتعدى على البقعة التي يبحث فيها جاري فقط؛ لأحصل على كيس مليء بالأوساخ يرمى على رأسي كتذكير حاد اللهجة، أن أبقى في المساحة المخصصة لي. رغم ذلك كنت أحياناً أقع على كنز، وأرى صلة عميقة للمرة الأولى. كانت الأسنان تبدو كنصلات صغيرة، ولها حواف وجذور. لقد أظهرت الحواف على هذه الأسنان الصغيرة شيئاً مميزاً. إن لكل سن منها نمطاً خاصاً من التآكل على الوجه، حيث تلتقي الأسنان العليا والسفلى معاً. فقد كنت أنظر إلى بعض أوائل الأدلة لنمطنا الدقيق في المضغ، في حيوان ثديي صغير عمره 190 مليون عاماً فقط.

إن طاقة هذه اللحظات كانت شيئاً لن أنساه ما حييت. هنا، وأنا أكسر الصخور في الوحل، كنت أكتشف أشياء يمكن أن تغير طريقة تفكير الناس. إن تلك الأنشطة القريبة من أنشطة الأطفال، وحتى أكثر تواضعاً، وأحد أكثر مطامع البشر الفكرية لم تكن لتفارقني. إنني أحاول أن أذكر نفسي بها، في كل مرة أحفر بها مكاناً جديداً.

وبالعودة إلى الجامعة في ذلك الخريف، تطورت لدي علة طويلة الأمد. لقد رغبت أن أقود رحلة استكشافية خاصة بي، لكن كانت تعوزني الموارد للقيام بأي شيء ضخم؛ لذلك بدأت باستكشاف

الصخور في ولاية كونيكتيكت (Connecticut)، التي كان يبلغ عمرها حوالي 200 مليون سنة. لقد كانت هذه المنطقة موضع عدد من الاكتشافات الأحفورية الهامة، حيث تمت دراستها في القرن التاسع عشر. لقد أدركت أنني إن قصدت تلك الصخور ذاتها بعدستي، والصورة الذهنية الأولى الناجحة، التي تكونت لدي في البحث عن الثدييات الأولى، فسأجد كثيراً من الأشياء. لذلك استأجرت عربة صغيرة، وأخذت حقيبة من أكياس الجمع، وباشرت العمل.

رغم ذلك لقد تعلمت درساً آخر أيضاً: لم أجد شيئاً. ورجعت إلى لوح الرسم، أو لأكون أكثر دقة، إلى مكتبة الجيولوجيا في الجامعة.

لقد احتجت إلى مكان، حيث تكون الصخور التي يبلغ عمرها 200 مليون سنة مكشوفة. لم يكن في كونيكتيكت إلا مقاطع الطرق. والمكان المثالي سيكون على طول الساحل، فقد توفر أفعال الموج كثيراً من سطوح الصخور المكسورة حديثاً، حيث يمكن البحث فيها. لقد جعل النظر إلى الخارطة خياري واضحاً: في نوفيا سكوتيا (Novia Scotia)، تقبع الصخور الترياسية والجوراسية (التي يبلغ عمرها تقريباً 200 ميلون سنة) على طول السطح. والأفضل من ذلك، أن مرجعات السياح قد أعلنت أن المنطقة بها أعلى موجات مدّ في العالم، تزيد أحياناً عن خمسين قدماً. لم أصدق حظي.

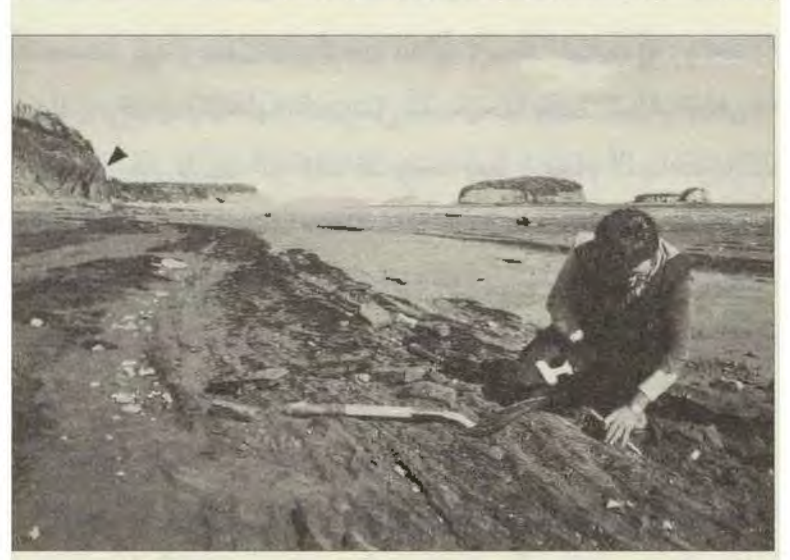
اتصلت بالخبير في هذه الصخور، باول أولسن (Paul Olsen)، الذي كان قد بدأ بالتدريس في جامعة كولومبيا. وكنت متحمساً؛ لإيجاد مواقع المستحاثات قبل أن أتحدث إلى باول، فقد سال لعابي بعد

أن فعلت. لقد وصف الجيولوجية المثالية لإيجاد ثدييات أو زواحف: جداول وكثبان قديمة لها الخصائص الصحيحة؛ لحفظ العظام الصغيرة. والأفضل من ذلك، أنه كان قد وجد بعض عظام الديناصورات، وأثار أقدامها على جانب منطقة ممتدة من الشاطئ بجانب بارسبورو (Parrsboro) في نوفا سكوتيا. خططنا أنا وباول لزيارة بارسبورو معاً، ومسح الشاطئ بحثاً عن المستحاثات الصغيرة. وقد كان ذلك كرماً رائعاً من باول؛ لأنه كان صاحب الحق بالمنطقة، ولم يكن مسؤولاً عن مساعدتي، عداك عن التعاون معي.

لقد شاورت فاريش حول خططي الناشئة، ولم يقدم المال فحسب، وإنما اقترح أن آخذ معي خبراء في إيجاد المستحاثات، بيل وتشاك. المال، وبيل، وتشاك، وباول أولسن، وصخور ممتازة، ومنحدرات مكشوفة - ماذا أريد بعد؟ وفي الصيف التالي، قدت أول رحلة استكشافية للمستحاثات تابعة لي.

وهكذا ذهبت بعربة مستأجرة إلى شواطئ نوفا سكوتيا مع طاقمي، بيل وتشاك. وكانت النكتة، طبعاً، فيّ أنا. فمع بيل وتشاك، اللذين كانت سنوات خبرة كل منهما في الحقل أكثر من أعياد ميلادي، كنت قائد الفريق بالاسم فقط. لقد كانا هما مَن يحددان مناطق إيجاد المستحاثات، بينما كنت أدفع فاتورة الغذاء.

لقد كانت الصخور في نوفا سكوتيا معرضة بشكل مذهل تماماً في الجروف البرتقالية من الحجر الرملي على طول خليج فوندي (Fundy). وكان المد يدخل ويخرج إلى الداخل حوالي نصف ميل



باول أولسن يجد آثار أقدام في السهول المدّية في نوفا سكوتيا. عند ارتفاع المد، كانت المياه تأتي إلى الجروف على اليسار. يشير السهم إلى منطقة كنا لنعلق بها، لو كنا حددنا أوقاتاً خطأ لرحلتنا. تصوير المؤلف.

يومياً، كاشفاً سهولاً هائلة من الصخور الرسوبية. لم يستغرقنا الأمر كثيراً حتى بدأنا بإيجاد العظام في العديد من المناطق. لقد كانت تظهر بقع بيضاء صغيرة من العظام على طول الجروف. وكان باول يجد آثار أقدام في كل مكان، حتى في السهول، التي كان المد يكشفها كل يوم.

لقد قضينا، أنا وتشاك وبيل وباول أسبوعين نحفر في نوفا سكوتيا، عثرنا خلالهما على القطع والطبقات، والأجزاء العظمية، التي كانت تظهر من بين الصخور. حذرني بيل، وهو محضر المستحاثات في المجموعة، بشكل مستمر أن أكشف كثيراً من العظام في الحقل، وأن

أقوم عوضاً عن ذلك بلفها وهي مغطاة بالحجار الرملية، حتى يتمكنوا من رؤيتها في المختبر تحت المجهر في ظروف يمكن التحكم بها بشكل أفضل. وقد قمنا بذلك، ولكنني أعترف بأن أملي خاب؛ لأن ما جلبناه معنا بضعة صناديق صغيرة فقط، تحتوي على بعض القطع والطبقات من صخور تظهر فيها العظام. وبينما كنا نقود العربة عائدين، أتذكر أنني كنت أفكر أنه على الرغم من عدم حصولنا إلا على القليل، إلا أنها كانت خبرة عظيمة. وبعد ذلك أخذتُ أسبوع إجازة، بينما عاد تشاك وبيل إلى المختبر.

عندما عدنا إلى بوسطن (Boston)، كان تشاك وبيل قد خرجا؛ لتناول طعام الغداء. وكان بعض الزملاء في زيارة إلى المتحف، وعندما لمحوني، جاؤوا؛ ليصافحوني ويقدموا تهانيهم، وصفعوني على ظهري. لقد كنت أُعامل كأنني بطل منتصر، ولم يكن لدي أدنى فكرة عن السبب، لقد بدت كأنها مزحة غريبة، أوكأنهم كانوا يعدون لحيلة ما. لقد طلبوا مني أن أتوجه إلى مختبر بيل؛ لأرى جائزتي. ودون أدنى فكرة، ركضت.

تحت ميكروسكوب بيل، كان هناك فك صغير، لم يتعد طوله نصف بوصة. فيه أسنان صغيرة جداً. لقد كان صاحب هذه الأسنان زاحفاً كما هو واضح؛ لأن الأسنان كانت بجذر واحد عند القاعدة، بينما أسنان الثدييات لها عدة جذور. وكان على الأسنان نتوءات، ولها حواف صغيرة أمكنني أن أراها حتى بعيني المجردتين. قدم لي النظر إلى الأسنان تحت المجهر أكبر مفاجأة:

كانت الحواف العليا عليها بعض البقع من التآكل. لقد كانت هذه أسنان زاحف لديه إطباق سن–على–سن. كانت مستحاثتي هذه نصف ثدية ونصف زاحفة.

ما كان مجهولاً لي هو أن بيل فك الغطاء عن أحد قطع الصخور، ورأى طبقة من العظام، وقام بتحضيرها باستخدام إبرة تحت المجهر. لم يعرف أحد منا ذلك في الحقل، وبذلك حققت بعثتنا نجاحاً مذهلاً. وذلك كله بفضل بيل.

ما الذي تعلمته هذا الصيف؟ أولاً: تعلمت أن أستمع لتشاك وبيل. ثانياً: تعلمت أن العديد من الاكتشافات العظمى لا تحدث في الحقل، بل في أيدي محضري المستحاثات. وكما بدا لي، فإن أعظم دروسي حول العمل الحقلي لما تأت بعد.

الزاحف، الذي وجده بيل كان تريثيليدونت (Tritheledont)، وهو مخلوق معروف من جنوب أفريقيا، كما هي الحال الآن من نوفا سكوتيا. لقد كانت هذه المخلوقات نادرة جداً، لذلك قررنا أن نعود إلى نوفا سكوتيا في الصيف التالي؛ لنجد مزيداً منها. لقد قضيت الشتاء بالتوقع. لو كان بإمكاني أن أحفر عبر جليد الشتاء لإيجاد المستحاثات، لكنت فعلت.

في صيف عام 1985، رجعنا إلى الموقع حيث وجدنا الزاحف. لقد كانت المنطقة المنشودة على مستوى البحث، فقد سقط جزء من الجرف الصخري قبل سنوات عديدة خلت. وكان علينا أن نؤقت زيارتنا اليومية: لم يكن الموقع سهل المنال عند علو المدّ؛ لأن المياه تصبح

عالية حول النقطة، التي علينا أن نبحث فيها. لن أنسى أبداً أول الأيام وأكثرها إثارة عندما درنا حول النقطة؛ لإيجاد بقعتنا الصغيرة من الصخور البرتقالية اللامعة. فقد كانت التجربة ذكرى لما كان مفقوداً: معظم المنطقة، التي عملنا فيها السنة الماضية. تعرضت للحت من الشتاء الماضي. وذهب موقع المستحاثات المحبب إلينا، الذي يحتوي على مستحاثات تريثيليدونت الجميلة مع المدّ.

والخبر الجيد- إن جاز لنا التعبير- هو أنه كان هناك أكثر قليلاً من الصخور الرملية البرتقالية لمسحها على طول الشاطئ. فمعظم الشاطئ، وتحديداً النقطة، التي كان علينا الذهاب إليها كل صباح، كانت مكونة من البازلت الناتج عن سيل حمم بركانية عمره 200 مليون عام. لقد كنا متأكدين من عدم وجود مستحاثات هناك؛ لأن من البديهي أن تلك الصخور، لسخونتها العالية في ذلك الوقت، لن تحفظ عظام المستحاثات. لقد قضينا خمسة أيام أو يزيد ونحن نضبط وقت زياراتنا للموقع وفق حركة المد، ونحفر الصخور الرملية البرتقالية تحته، دون أن نجد أي شيء.

لقد جاء اكتشافنا العظيم عندما مرّ رئيس نادي الليونز المحلي (Lions Club) بعربتنا؛ باحثاً عن حكام لمسابقة الجمال المحلية؛ لتتويج ملكة جمال بارسبورو لأسبوع الوطن الأم (Parrsboro's Miss Old Home Week). لقد اعتمدت البلدة على الزوار لهذه المهمة الشاقة دائماً؛ لأن تعاطف السكان المحليين عادة يزداد خلال الحفل. والحكام المعتادون- زوجان مسنان من كويبك- لم يأتيا هذا العام للزيارة، وتمت

دعوتنا أنا والطاقم، لنكون بديلين عنهما.

ويسبب اختيارنا لتحكيم مسابقة الجمال وما دار حول نتائجها من جدال، بقينا مستيقظين إلى وقت متأخر جداً، ونسينا المد في اليوم التالي، وانتهى بنا الأمر محتجزين خلف أحد المنعطفات في الجروف البازلتية. لقد بقينا ساعتين محتجزين على نتوء صغير لا يزيد عن خمسين قدماً عرضاً. لقد كانت الصخرة بركانية، وليست من النوع، الذي يمكن أن نختاره أبداً؛ لنبحث فيه عن المستحاثات. تجاوزنا الصخور حتى مللنا، ثم نظرنا إلى الصخور: ربما نجد بلورات مثيرة من المعادن. اختفى بيل وراء زاوية ما، وبحثت في بعض الصخور البازلتية خلفنا. وبعد حوالي خمس عشرة دقيقة، سمعت اسمي. لن أنسى ما حييت نغمة صوت بيل الخافتة: «أوه، نيل، قد ترغب بالمجيء إلى هنا». عندما التفت نحو الزاوية، رأيت الحماس في عيني بيل. ثم رأيت الصخور عند قدميه. كان يخرج من الصخور أجزاء صغيرة بيضاء. عظام مستحاثات، الآلاف منها.

لقد كان هذا ما كنا نبحثُ عنه تماماً، موقع فيه عظام صغيرة. وقد اتضح أن الصخور البركانية لم تكن بركانية فحسب: وإنما كان هناك صخور رملية فضية تتخلل الجرف. لقد نتجت الصخور من سيل وحلي قديم صاحبه ثوران بركانيّ. وقد علقت المستحاثات في الوحل القديم.

جلبنا أطناناً من هذه الصخور معنا. كان في داخلها مزيداً من مستحاثات التريثيليدونت، وبعض التماسيح البدائية، وزواحف أخرى تشبه السحالي. لقد كانت مستحاثات التريثيليدونت هي الجواهر بالنسبة لنا طبعاً؛ لأنها أظهرت أن أنواعاً معينة من الزواحف قد امتلكت

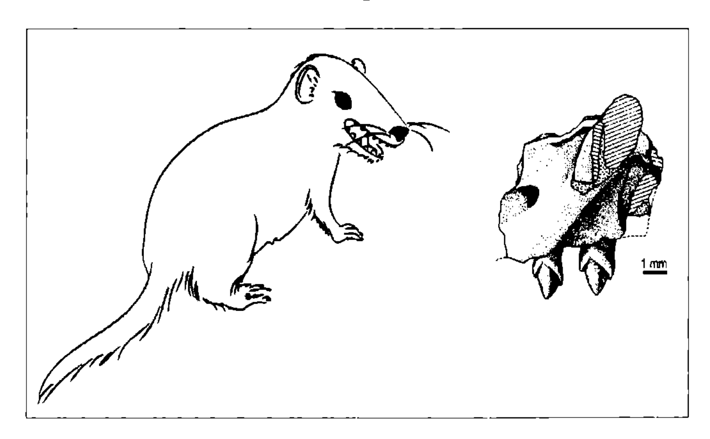
نوع المضغ ذاته الذي لدينا نحن الثدييات.

إن الثدييات الأولى- كتلك التي اكتشفها فريق فاريش في أريزونا- لها أنماط دقيقة من العض. تنطبق الخدوش على قمم الأسنان للأسنان العلوية كصورة مرآة على الأسنان السفلية. وهذه الأنماط من التآكل دقيقة جداً، حتى أن من الممكن تمييز الثدييات الأولى بأنماط تآكل وانطباق أسنانها. إن لثدييات أريزونا، التي اكتشفها فاريش نمطاً مختلفاً من بروزات الأسنان والمضغ، عن تلك التي وجدت بالعمر نفسه في أمريكا الجنوبية وأوروبا والصين. وإن كان كل ما لدينا لنقارن هذه المستحاثات به هو الزواحف الحية، فإن أصول تناول الطعام لدى الثدييات سيكون لغزاً كبيراً. كما ذكرت، ليس للتماسيح والسحالي أي نوع من أنماط التطابق والإطباق. وهنا يأتي دور مخلوقات مثل: التريثيليدونت.

عندما نعود بالزمن، إلى صخور أكبر بعشرة ملايين سنة، كتلك الموجودة في نوفا سكوتيا، نجد مستحاثات تريثيليدونت مع شكل بدائي من المضغ. ففي مخلوقات التريثيليدونت، لا تقفل البروزات المفردة بشكل دقيق، كما هي الحال في الثدييات، وعوضاً عن ذلك، فإن السطح الداخلي كله من السن العلوية، يجز على السطح العلوي من السن السفلية كالمقص تقريباً. وهذه التغيرات في الإطباق لا تحدث من فراغ. لا بدّ أن تتأتى لسبب ما، وليس مفاجئاً أن المخلوقات الأولى، التي تظهر مضغاً كالموجود لدى الثدييات، تظهر فيها سمات الثدييات المتمثلة في الفك السفلي، والجمجمة

والهيكل العظمي.

ولأن الأسنان تحفظ بشكل جيد في السجل الأحفوري، أصبح لدينا معلومات مفصلة جداً عن كيفية نشوء الأنماط الرئيسية من المضغ – والقدرة على استخدام طعام جديد – مع الزمن. إن العديد من أخبار الثدييات، هي أخبار الطرق الجديدة في معالجة الطعام. بعد أن وجدنا التريثيليدونت في السجل الأحفوري بوقت قليل، بدأنا نشاهد أنواع الأجناس الثديية جميعها، مع أنواع جديدة من الأسنان، بالإضافة إلى طرق جديدة لإطباقها واستخدامها. ووجدنا في الصخور، التي يبلغ عمرها حوالي 150 مليون سنة، من أنحاء العالم المختلفة ثدييات صغيرة بحجم القوارض، مع نوع جديد من صفوف الأسنان، نوعاً مهّد الطريق لوجودنا نحن. إنّ ما جعل هذه الأجناس ذات خصوصية هو مقدار تعقيد أفواهها: للفك أنواع مختلفة من الأسنان. لقد طور الفم



ترايثيليدونت وقطعة من فكه اكتشفت في نوفا سكوتيا. الرسم التوضيحي لقطعة الفك بواسطة لازلو ميسزولي (Lazlo Meszoley).

نوعاً من تقسيم العمل. القواطع في الأمام أصبحت متخصصة في قطع الطعام، والأنياب بعدها لتقوم بثقبه، والأضراس في الخلف لتقوم بجزه أو سحقه.

تحمل تلك الثدييات الصغيرة، التي تشبه الفئران في حناياها قطعة من تاريخنا في حناياها. وإن كنت في شك من ذلك، تخيل أكل تفاحة دون أن يكون لديك أسنان قواطع، أو حتى، جزرة كبيرة دون أضراس. إن تناول طعامنا المتنوع، الذي يتراوح بين الفواكه واللحوم إلى الكعك، ممكناً فقط؛ لأن أسلافنا الثديية البعيدة قد طورت أفواهاً بأنواع مختلفة من الأسنان، التي يمكن أن تنطبق بشكل دقيق. ونعم، المراحل الأولى في هذا التطور ظاهرة في التريثيليدونت، وغيرها من الحيوانات القديمة القريبة: الأسنان في الأمام لها نمط مختلف من القواطع، والحواف عن تلك الموجودة في الخلف.

الأسنان والعظام – الأجزاء الصلبة

غالباً ما يمكن فهم– دون الحاجة إلى القول– أن ما يجعل الأسنان ذات طابع خاص مختلف عن باقي الأعضاء هو صلابتها. يجب أن تكون الأسنان أصلب من أجزاء الطعام، التي ستقوم بتقطيعه. تخيل محاولة تقطيع شريحة لحم بإسفنجة. إن الأسنان صلبة كالصخر، والسبب في ذلك احتواؤها على جزيء بلوري. ذلك الجزيء المعروف بهيدروكسي أباتايت، يتخلل البنية التحتية الجزيئية والخليوية لكل من

الأسنان والعظام، مما يجعلها مقاومة للانثناء، والضغط، وغيرها من الضغوط. والأسنان صلبة جداً أكثر؛ لأن طبقة المينا الخارجية غنية أكثر بهيدروكسي أباتايت من أي جزء آخر في الجسم، بما في ذلك العظام. إن مينا السن، هي ما يعطيه لمعته البيضاء. طبعاً، المينا هي إحدى الطبقات، التي تتكون منها أسناننا. والطبقات الداخلية كالعاج، مليئة أيضاً بهيدروكسي الأباتايت.

هناك العديد من المخلوقات، التي لديها أنسجة صلبة – كالمحار والحلزون مثلاً. ولكنها لا تستخدم الهيدروكسي أباتايت. فالمحار والحلزونات تستخدم موادّ أخرى ككربونات الكالسيوم أو الكيتين. وبشكل مختلف عنّا أيضاً، فإن هذه الحيوانات لديها هيكل خارجي يغطي الجسم. أما نحن، فصلابتنا تكمن داخلنا.

إنّ النوع الخاص بنا من الصلابة– بوجود الأسنان داخل أفواهنا والعظام داخل أجسادنا– جزء ضروري من هويتنا. يمكننا الأكل، والانتقال، والتنفس، وحتى أيض بعض المعادن بسبب الأنسجة، التي تحتوي على الهيدروكسي أباتايت. ولهذه القدرات، يمكننا أن نقدم الشكر للسلف المشترك بيننا وبين الأسماك كلها.

إن كل سمكة، وحيوان برمائي، وزاحف، وطائر، وثديي على هذا الكوكب يشبهنا نحن. فجميعها لديها تراكيب تحتوي على الهيدروكسي أباتايت. ولكن من أين أتى هذا كله؟

إن هناك قضية، فكرية هامة على المحك. بمعرفة أين ومتى وكيف نشأت العظام والأسنان الصلبة، سنكون قادرين على فهم لماذا نشأت

هذه الأنواع من الأنسجة؟ وهل جاءت؛ لتحمي الحيوانات من بيئتها؟ أم هل جاءت؛ لتساعدها على الحركة؟ إن الإجابة على هذه الأسئلة تقبع في السجل الأحفوري، في الصخور، التي يبلغ عمرها حوالي 500 مليون سنة.

بعض أكثر المستحاثات شيوعاً في المحيطات القديمة، التي يبلغ عمرها 250 إلى 500 مليون سنة، هي الكونودونت (Conodont). اكتشفت الكونودونت في الثلاثينيات من القرن التاسع عشر من قبل عالم الأحياء الروسي كريستيان باندر (Christian Pander)، الذي سوف يرافقنا في بضعة فصول. إنها كائنات صغيرة صدفية، لها سلسلة من الأشواك، التي تمتد خارجة منها. ومنذ أيام باندر، بدأت الكونودونت تكتشف في كل قارة، هناك أماكن حيث لا يمكنك أن تكسر صخرة دون أن تجد أعداداً هائلة منها. والآن أصبح مئات الأنواع من هذه المخلوقات معروفاً.

ظلت هذه المخلوقات لغزاً لفترة طويلة من الزمن. لقد اختلف العلماء حول ما إذا كانت حيوانات، أو خضروات أو معادن. وبدا كأن لكل واحد نظرية مدلّلة. وكان يفترض أن تكون الكونودونت أجزاءً من المحار، أو الاسفنج، أو بعض الفقاريات، أو حتى الديدان. انتهى التخمين عندما بدأت الحيوانات تظهر كاملة في السجل الأحفوري.

إن أول عينة جعلت كل شيء معقولاً، وجدها أستاذ في علم المستحاثات كان يفتش في قبو جامعة إدنبرة (Edinburgh). فقد كانت هناك لوحة من الصخر يظهر فيها ما بدا كأنه جلكى (Lamprey). ربما يتذكر أحدنا الأنقليس من حصص الأحياء – إنها أسماك بدائية جداً لا

فكوك لها. وهي تعيش ملتصقة بأسماك أخرى، وتتغذى على سوائل جسمها. وكان مغروساً أمام الطبعة، التي تركتها الأنقليس مستحاثات صغيرة بدت كأنها مألوفة بشكل غريب. إنها الكونودونت. بدأت مستحاثات أخرى تشبه الأنقليس تظهر في الصخور في جنوب أفريقيا، وفي وقت متأخر في غرب الولايات المتحدة. إن هذه المخلوقات جميعاً لها سمة استثنائية. لديها جميعاً تراكيب الكونودونت كاملة في أفواهها. لقد أصبحت النتيجة واضحة بما يكفي: لقد كانت الكونودونت أسناناً. وليست أي أسنان، بل كانت أسناناً لأسماك قديمة بلا فكوك.

لقد كان لدينا أقدم أسنان في السجل الأحفوري لأكثر من 150 عاماً، قبل حتى أن ندرك ما هي. والسبب المنطقي لذلك هو كيفية حفظ المستحاثات. إن الأجزاء الصلبة، كالأسنان مثلاً، تميل لأن تحفظ بسهولة. أما الأجزاء الطرية، كالعضلات والجلد والأمعاء، عادة تضمحل دون أن يتم حفظها كمستحاثات. لدينا خزائن متحف مليئة بالهياكل العظمية المستحاثة، والأسنان، ولكن القليل فقط من الأمعاء والأدمغة الثمينة. في الحالات النادرة، التي نجد فيها أنسجة طرية، فإنها تكون عادة محفوظة كطبعات أو سبائك. إن سجلنا الأحفوري مليء بأسنان الكونودونت، ولكن استغرقنا الأمر 150 عاماً لنجد الأجسام. هناك شيء آخر جدير بالملاحظة أيضاً، حول الأجسام، التي كانت الكونودونت تنتمي إليها. ليس لديها عظام صلبة. لقد كانت حيوانات ذات جسد طري لكن لها أسنان صلبة.

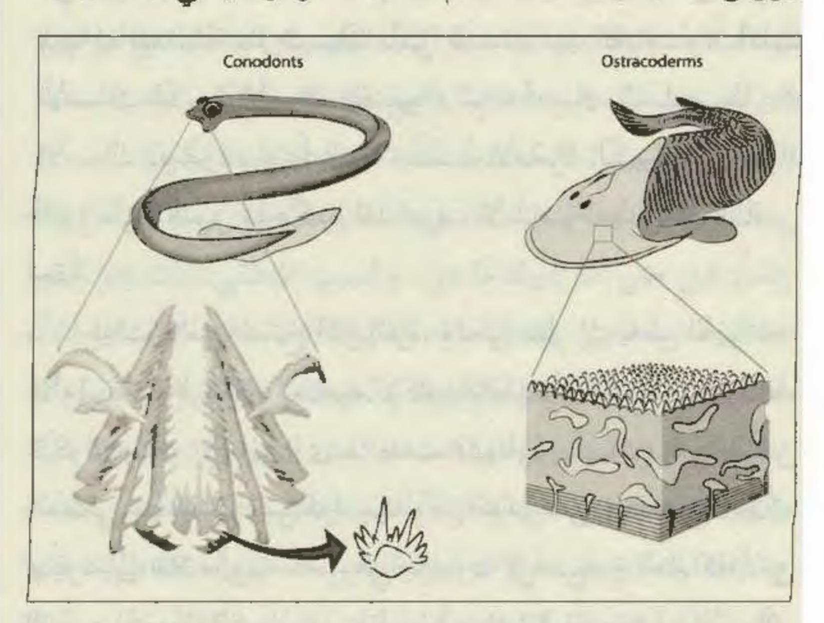
لقد جادل علماء المستحاثات لسنوات حول سبب نشوء هياكل

صلبة تلك، التي تحتوي هيدروكسي أباتايت، وفي المقام الأول. بالنسبة لأولئك الذين اعتقدوا أن الهياكل نشأت مع الفكوك، وعظام الظهر، أو حتى الدورع، توفر الكونودونت أسناناً «غير موثوقة»، إن كانت كذلك. فإن أول أجزاء جسدية صلبة تحتوي على هيدروكسي أباتايت هي الأسنان. وقد نشأت العظام الصلبة لا لحماية الحيوان، بل لأكلها. وبهذا، فقد بدأ عالم السمك يأكل السمك منذ القدم. أولاً أكلت الأسماك الكبيرة الأسماك الصغيرة؛ ثم بدأ سباق التسلح. طورت الأسماك الصغيرة دروعاً، بينما حصلت الأسماك الكبيرة على فكوك أكبر؛ لكسر الدروع وهكذا. لقد غيرت الأسنان والعظام مجال التنافس حقاً.

أخذت الأمور تصبح أكثر إثارة، ونحن ننظر إلى بعض الحيوانات الأولى ذات الرؤوس العظمية. وكلما انتقلنا في الزمن من حيوانات الكونودونت الأولى، نرى ما بدت عليه أولى الهياكل ذات الرأس العظمي. إنها تنتمي لسمكة اسمها أوستراكوديرمس (Ostracoderms)، وتعود إلى 500 مليون سنة، وهي موجودة في صخور العالم كله، من القطب المتجمد الشمالي إلى بوليفيا (Bolivia). تبدو هذه الأسماك كقطع الهمبرغر مع أذيال لحمية.

منطقة الرأس في الأوستراكوديرمس عبارة عن قرص كبير مغطى بحجاب من العظام تبدو كأنها درع. فإذا فتحت جاروراً في المتحف وأريتك واحداً منها، فسوف تلاحظ مباشرة شيئاً غريباً: هيكل الرأس لامع حقاً، كأسناننا، أو كحراشف السمك.

إن أحد أسرار المتعة في كونك عالماً، هو أن العالم الطبيعي لديه قدرة على الإدهاش والمفاجأة. هنا- في الأوستراكوديرمس- وهي مجموعة مبهمة من الأسماك القديمة بلا فكوك، تقدم مثالاً أولياً على ذلك. إن الأوستراكوديرمس هي إحدى أوائل المخلوقات، التي لها رؤوس عظمية. إذا فتحت عظام الجمجمة، وغرستها في البلاستيك،



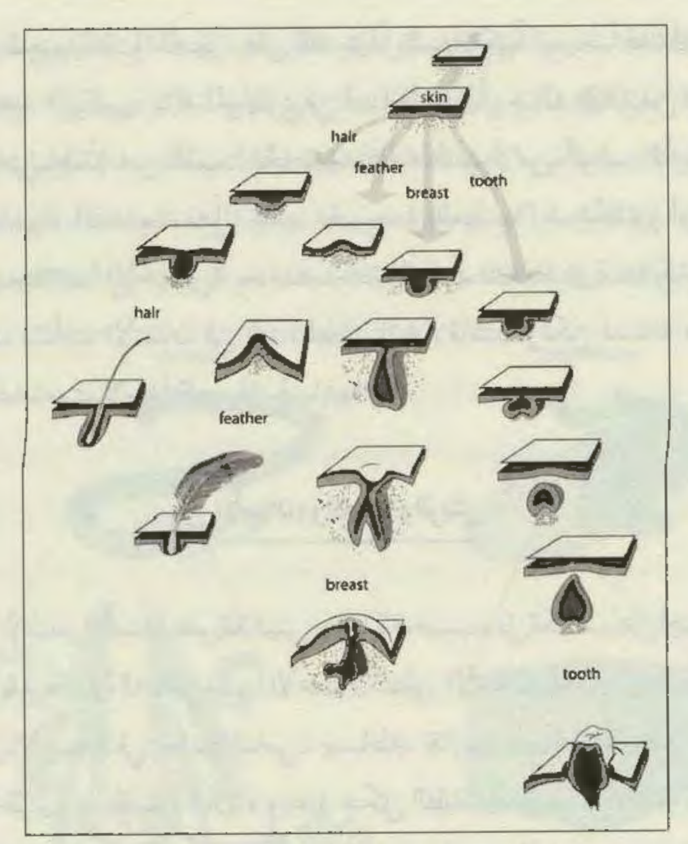
كونودونت (يسار) وأوستراكوديرم (يمين). كانت الكونودونت توجد معزولة. ثم أصبحت معروفة كحيوانات كاملة، لقد علمنا أن العديد منها عملت معاً كصف من الأسنان، في فم تلك الأسماك ذات الجسد الطري، التي لا فكوك لها. أما الأستراكوديرم فلها رؤوس مغطاة بترس عظمي. الطبقات المجهرية لذلك الدرع يبدو كأنها مكونة من تراكيب صغيرة كالأسنان. إعادة بناء صف الأسنان في الكونودونت تمت بمبادرة من الدكتور مارك بيرنيل (Mark Prunell)، من جامعة ليستر (Leicester)، والدكتور فيليب دونوغ (Philip Donoghue) من جامعة بريستول.

ووضعتها تحت المجهر، فلن تجد شيئاً يشبه تركيباً نسيجياً قديماً؛ بل ستجد التركيب ذاته الموجود في أسناننا تقريباً. هناك طبقة من المينا وحتى طبقة من اللب. الحجاب كله مصنوع من ألوف الأسنان الصغيرة الملتحمة معاً. هذه الجمجمة العظمية - إحدى أوائل السجلات الأحفورية - مصنوعة من أسنان صغيرة بالكامل. لقد نشأت الأسنان في البدء لعضّ المخلوقات، ولكن نسخة منها استخدمت لاحقاً كوسيلة لحمايتها.

الأسنان، والغدد، والريش

لا تنذر الأسنان بطريقة عيش جديدة فحسب، بل تكشف عن أصول طريقة جديدة تماماً من نشوء الأعضاء. تتطور الأسنان بتفاعل بين طبقتين من الأنسجة في جلدنا النامي. ببساطة، تقترب طبقتان إحداهما من الأخرى، وتنقسم الخلايا، ويتغير شكل الطبقتين، وتصنعان البروتين. تقوم الطبقة الخارجية بتصنيع المولدات الجزيئية للمينا، بينما تصنع الطبقة الداخلية العاج واللب داخل السن. وعبر الزمن، فإن تركيب السن يبدأ بالتشكل، ثم يتحور؛ لينتج أنماطاً من الحواف والأغوار، التي تميز كل جنس عن الآخر.

إن الأساس في تطور الأسنان هو تفاعل بين هاتين الطبقتين من الأنسجة، مجموعة خارجية من الخلايا، وطبقة داخلية سائبة من الخلايا، تسبب انطواء النسيج وتجعل كلا الطبقتين تفرزان الجزيئات، التي تبني



الأسنان، والأثداء، والريش، والشعر، تطورت جميعاً من تفاعلات بين طبقات الجلد.

العضو. وقد اتضح أن العملية نفسها تقبع خلف تطور التراكيب كلها، التي تتطور ضمن الجلد: الحراشف، والشعر، والريش، وغدد العرق، وحتى الغدد الحليبية. وفي كل حالة، تجتمع طبقتان، وتنثنيان، وتفرز بروتينات. في الحقيقة، إن مجموعات الأقفال الوراثية (الجينات) التي،

تنشط في هذه العملية في كل نوع من الأنسجة متشابهة إلى حد كبير.

إن هذا المثال شبيه بعمل مصنع، أو عملية تجميع جديدة. فبعد اختراع حقن البلاستيك، استخدمت لصناعة كل شيء من أجزاء السيارات إلى اليويو (yo-yo). وليست الأسنان مختلفة عن ذلك، فعند خروج العملية، التي تم بها صنع الأسنان إلى النور، تم تعديلها لصناعة أشكال متعددة من الأعضاء الموجودة في الجلد. لقد رأينا هذه العملية تصل حدوداً متطرفة في الأوستراكوديرمس. إن الطيّور، والزواحف، والبشر، ليست إلا مخلوقات متطرفة كذلك بأشكال متعددة. لم نكن نملك حراشف، أو ريشاً، أو حتى أثداءً، لو لم يكن لدينا أسنان في المقام الأول. إن الأداة التطورية، التي تصنع الأسنان قد أعيد توجيهها لصناعة تراكيب جلدية هامة أخرى. وبمنطق معقول جداً، يمكن القول إن أعضاءً مختلفة جداً، كالأسنان والريش والأثداء متصلة بعضها بالآخر لا محالة.

إن أسلوب الفصول الأربعة الأولى، يتمحور حول الطريقة، التي يمكننا بها تتبع العرض نفسه في مخلوقات مختلفة. في الفصل الأول، رأينا كيف يمكننا أن نعقد التنبؤات ونجد نسخاً من أعضائنا في الصخور القديمة. ورأينا في الفصل الثاني كيف يمكننا تتبع العظام نفسها على طول السلسلة من الأسماك إلى الإنسان. وعرض الفصل الثالث كيف يمكن تتبع الجزء الموروث حقاً – الحمض النووي والوصفة الجينية، التي تبني الأعضاء – في العديد من المخلوقات المختلفة. وهنا، في الأسنان، والغدد الحليبية والريش، نجد نمطاً متشابهاً. العمليات البيولوجية، التي

تنتج هذه الأعضاء المختلفة ليست سوى وجهين لعملة واحدة. عندما ترى هذه التشابهات العميقة، بين الأعضاء والأجسام المختلفة، سنبدأ بإدراك أن المثبطات المتنوعة في عالمنا، ليست إلا تنويعات على وتر واحد.

الفصل الخامس

الحصول على رأس

بقي يومان على امتحاني النهائي لمساق التشريح، وأنا في المختبر في الثانية صباحاً تقريباً، أحفظ الأعصاب الرأسية. هناك اثنا عشر عصباً رأسياً، كل واحد منها يتفرع؛ ليأخذ اتجاهات وانعطافات غريبة في الجمجمة. لدراستها، قمنا بقطع الجمجمة من الجبهة إلى الذقن، وقمنا بنشر عظام الخد. لذلك كنت هنا أمسك كل نصف بيد، متتبعاً المسارات الملتوية، التي تتخذها الأعصاب من أدمغتنا إلى العضلات وأعضاء الحس المختلفة.

لقد أخذت بعصبين رأسيين، العصب ثلاثي التوائم (Trigeminal) والعصب الوجهي (Facial)، إن نمطهما المعقد قد انتهى لدي بشيء بسيط جداً، سهل جداً إلى درجة أنني أدركت رأس الإنسان بمنظور جديد. لقد جاءت تلك الفكرة من فهم العلاقات الأبسط في أسماك القرش. إن بهجة إدراكي – وليس أصالته، الذي أدركه علماء التشريح المقارن قبل قرن أو يزيد – والضغط الناتج عن الامتحان القادم، قد قادني لأن أنسى أين أنا. وعند نقطة ما، تطلعت حولي، لقد كان الوقت منتصف الليل، وكنت وحدي في المختبر. وكنت محاطاً أيضاً بخمسة وعشرين جسداً لأناس تحت الملاءات. أصبت بالذعر للمرة الأولى والأخيرة في

حياتي. لقد أوصلت نفسي إلى مرحلة توقف فيها الشعر على أسفل رقبتي، وقامت قدماي بما عليهما، وخلال أجزاء من الثانية، وجدت نفسي واقفاً في موقف الباص، مقطوع النفس. لا حاجة للقول هنا: إنني شعرت بالسخافة. أتذكر أنني كنت أحدث نفسي قائلاً: شوبين، لقد أصبحت متشدداً. لم تدم تلك الفكرة طويلاً، فقد اكتشفت سريعاً أنني أقفلت على مفاتيح بيتي في المختبر.

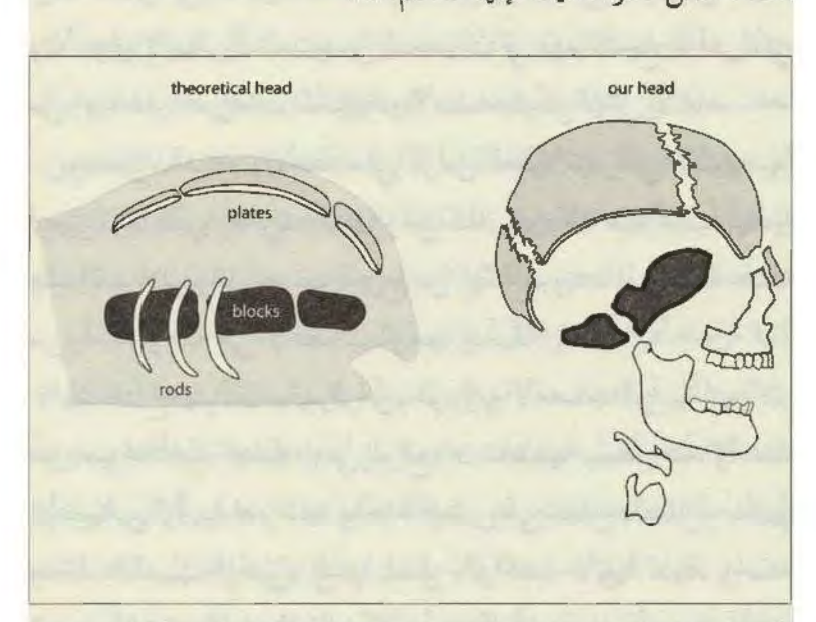
إن ما جعلني متشدداً، هو أن تشريح الرأس أخّاذ، وفي الواقع جميل. إن أحد المتع في العلم، هي أننا أحياناً نرى نمطاً يكشف عن وجود انتظام في ما كان يبدو فوضوياً. تصبح الفوضى جزءاً من تخطيط بسيط، وتشعر أنك ترى من خلال شيء ما لترى ذلك الجوهر داخل رؤوسنا. وطبعاً، رؤوس الأسماك.

الفوضى الداخلية للرأس

إن تشريح الرأس ليس معقداً فحسب، وإنما من الصعب رؤيته أيضاً، حيث إنه، على النقيض من أعضاء الجسم الأخرى، مغلف في صندوق عظمي. إن علينا، بكل ما تحمل الكلمة من معنى، أن ننشر الخد، والجبهة، وقمة الجمجمة، لنرى الأوعية والأعضاء. وبفتحنا رأس إنسان، نجد تجمعاً مما يبدو كخيوط شبكة الصيد المتشابكة. تكون الأوعية والأعصاب حلقات كثيرة وتلتف، بينما تنتقل عبر الجمجمة ألوف التفرعات العصبية، والعضلات والعظام الموجودة داخل هذا

الصندوق الصغير. للوهلة الأولى، فإن المصفوفة كاملة عبارة عن ورطة مربكة.

إن جماجمنا مكونة من ثلاثة أجزاء رئيسية: الصفائح، والحواجز والعصي. الصفائح تغطي دماغنا. إذا ربتّ على رأسك، فسوف تحسها. هذه الصفائح الكبيرة تتصل معاً كقطع الألعاب، وتشكل معظم جمجمتنا. عندما نولد، تكون هذه الصفائح منفصلة، والمسافات بينها– اليافوخ (fontanelles)– يمكن رؤيتها لدى الأطفال، وعادة ما تكون منتفخة بنسيج الدماغ تحتها، ومع نمونا، تكبر العظام ومع الوقت عندما نصل عمر الثانية، فإنها تلتحم معاً.



الألواح، والقطع والحصيات: نمط الجماجم. كل عظمة في رأسنا يمكن تتبعها إلى واحدة من هذه الأشياء.

الجزء الثاني من جمجمتنا يقع تحت الدماغ، مشكلاً منصة تمسكه. وعلى النقيض من العظام، التي تشبه الصفائح في القمة، هذه العظام تبدو ككتل معقدة، وتحتوي على العديد من الشرايين، والأعصاب التي تمر عبرها. النوع الثالث من العظام يشكل فكيّنا. وبعض العظام في أذنينا، وعظاماً أخرى في حنجرتنا، هذه العظام تبدأ بالتطور كعصي، تنفصل في النهاية ويتغير شكلها؛ لتساعدنا على المضغ، والبلع والسمع.

داخل الجمجمة هناك العديد من الحجرات والمساحات، التي تحتوي على أعضاء مختلفة. وكما هو واضح، فإن الدماغ يحتل أكبر هذه الحجرات. المساحات الأخرى تحتوي أعيننا، وأجزاء من أذنينا، والأجزاء الأنفية. إن العديد من التحديات في فهم تشريح الرأس تأتي من رؤية هذه الفراغات المختلفة،والأعضاء بشكل ثلاثي الأبعاد.

ويتصل بالعظام والأعضاء في الرأس العضلات، التي نستخدمها لنعض، ونتكلم، ونحرك أعيننا ورأسنا كله. يقوم اثنا عشر عصباً بتغذية هذه العضلات، كل عصب يخرج من الدماغ، ويمتد إلى منطقة مختلفة من رأسنا. وهذه هي الأعصاب الرأسية المخيفة.

إن مفتاح فهم أساسيات الرأس، هو رؤية الأعصاب الرأسية أنها أكثر من مجموعة أشياء مختلطة. وفي الواقع، إن معظمها بسيط حقاً. وأبسط الأعصاب الرأسية له وظيفة واحدة فقط، وهي تتصل بعضلة أو بعضو واحد. العصب الرأسي، الذي يتصل بالتراكيب الأنفية لدينا، واسمه العصب الشمّي، له وظيفة واحدة: أخذ المعلومات من أنسجة الأنف إلى الدماغ. بعض الأعصاب، التي تذهب إلى أعيننا وأذنينا بسيطة

بالطريقة نفسها، العصب البصري متعلق بالرؤية، والعصب السمعي متصل بالسمع. ما يقارب أربعة أعصاب رأسية فقط تخدم العضلات - تعمل على تحريك العينين داخل المحجرين، مثلاً، أو تحريك الرأس فوق الرقبة.

ولكن هناك أربعة من الأعصاب الرأسية شكلت نوبات لطلاب الطب لعقود. لسبب وجيه: فالأعصاب الأربعة لها وظائف معقدة جداً، وتتخذ مسارات متعرجة عبر الرأس؛ لتقوم بوظائفها. العصب ثلاثي التوائم، والعصب الوجهي يستحقان الذكر تحديداً. فكلاهما يخرجان من الدماغ، وتنقسم إلى شبكة معقدة من الأفرع. تماماً ككابل يحمل معلومات التلفاز، والإنترنت، والصوت، يمكن لفرع واحد من العصب ثلاثي التوائم، والعصب الوجهي أن يحمل معلومات حول كل من الإحساس والحركة. تنشأ الألياف العصبية المنفردة للإحساس، والحركة من أجزاء مختلفة من الدماغ، وهي تتجمع معاً في كوابل (تنتهي معاً فيما يسمى بالعصب ثلاثي التوائم والعصب الوجهي)، ثم تنقسم ثانية مرسلة أفرعاً لأجزاء الرأس جميعا.

تقوم أفرع العصب ثلاثي التوائم بأمرين رئيسيين: فهما يتحكمان بالعضلات، وتحمل معلومات حسية من أنحاء وجهنا المختلفة رجوعاً إلى الدماغ. والعضلات، التي يتم التحكم بها بالعصب ثلاثي التوائم، تتضمن تلك التي نستخدمها، بينما نمضغ بالإضافة إلى العضلات الدقيقة داخل أذنينا. كما أن العصب ثلاثي التوائم هو العصب الرئيسي للإحساس في الوجه أيضاً. إن السبب وراء الألم الشديد الناتج عن

صفعة على الوجه- عدا عن الألم الانفعالي- هو أن هذا العصب يحمل المعلومات الحسية من الجلد على وجوهنا إلى الدماغ. كما يعرف طبيب الأسنان أفرع العصب ثلاثي التوائم أيضاً. فالأفرع المختلفة تذهب إلى جذور أسناننا، وخزة واحدة من المخدر على واحدة من هذه الأفرع يمكن أن تقتل الإحساس أيضاً في أجزاء أخرى من صف الأسنان.

يتحكم العصب الوجهي بالعضلات أيضاً، وينقل المعلومات الحسية. وكما يشير اسمه، فإنه هو العصب الرئيسي، الذي يتحكم بعضلات تعابير الوجه. نستخدم هذه العضلات الدقيقة؛ لنبتسم، ونتجهم، ولنرفع حواجبنا ونخفضها، ولنفتح أنوفنا، وما إلى ذلك. إن لها أسماء معبرة بشكل رائع. أحد العضلات الرئيسية، التي نستخدمها في التجهم - تحرك زوايا فمنا للأسفل - تسمى العضلة الخافضة لزاوية الفم (depressor anguli oris). ومن الأسماء الرائعة الأخرى، التي تعود على عضلة نستخدمها لتغضين حواجبنا باهتمام أيضاً: العضلة المغضنة للحاجب (Corrugator supercilii). وإذا فتحت أنفك فأنت تستخدم العضلة الأنفية. إن كل واحدة من هذه العضلات، كحال كل العضلات الأخرى، التي تتحكم بالتعابير الوجهية، يتم التحكم بها عن طريق أفرع العصب الوجهي. إن حدوث أشياء كالابتسامة غير المتوازنة، أو تهدل غير متماثل في الجفنين قد تكون علامات على خلل ما، بالعصب الوجهي على أحد جانبي الوجه.

ربما بدأت بملاحظة سبب بقائي إلى وقت متأخر في دراسة هذه الأعصاب. لا يبدو أن أي شيء يتعلق بها منطقي. مثلا، كلا العصبين

ثلاثي التوائم والوجهي، يرسلان أفرعاً دقيقة إلى العضلات داخل أذنينا. لم يقم عصبان مختلفان– يغذيان أجزاءً مختلفة تماماً من الوجه والفك– بإرسال أفرع إلى عضلات الأذن، التي تقبع إحداها جانب الأخرى؟ والأكثر تشويشاً، أن العصبين ثلاثي التوائم والوجهي يتقاطعان تقريباً، بينما يرسلان أفرعهما إلى الوجه والفك. لماذا؟ مع وجود مثل هذه الوظائف المسهبة بشكل غريب والمسارات الملتوية، يبدو أنه لا يوجد هناك تناغم، أو سبب لتركيبهما، ولا حتى لمطابقة الصفائح، والكتب، والعصي التي تشكل جمجمتنا.

وخلال تفكيرنا بهذه الأعصاب، أتذكر أيامي الأولى هنا في شيكاغو (Chicago) عام 2001. لقد أعطيت مساحة لمختبر بحثي في مبنى عمره مئة عام، واحتاج المختبر إلى كوابل خدمات، وأعمال سباكة وتهوية. أتذكر يوم فتح المتعهدون الجدران للمرة الأولى للوصول إلى الأجزاء الداخلية من البناء. إن ردود أفعالهم للأنابيب والأسلاك داخل حائطي، كانت كرد فعلي تماماً عندما فتحت رأس إنسان، ورأيت العصبين ثلاثي التوائم والوجهي للمرة لأولى. لقد كانت الأسلاك والكوابل والأنابيب داخل الجدار مكتظة دون ترتيب. لا يمكن لأي عاقل أن يكون صمم بناء من الصفر بهذه الطريقة، بجعل الكوابل والأنابيب تمر بحلقات غريبة، وتلتف في أنحاء البناء كلها.

وهذه هي الفكرة المهمة. كان بنائي مبنياً في عام 1896، والخدمات تعكس تصميماً قديماً تم ترقيعه عدة مرات مع كل تجديد. إذا أردت فهم الأسلاك والأنابيب في بنائي، عليك أن تفهم تاريخه، وكيف تم تجديده

لكل جيل من العلماء. برأسي تاريخ طويل أيضاً، وذلك التاريخ يفسر الأعصاب المعقدة كالعصب ثلاثي التوائم والعصب الوجهي.

بالنسبة لنا، يبدأ هذا التاريخ مع بويضة مخصبة.

الجوهر في الأجنة

لا أحد يبدأ حياته برأس: الحيوان المنوي والبويضة يجتمعان لإنشاء خلية مفردة. وبين لحظة الإخصاب والأسبوع الثالث الذي يليها، نتحول من خلية واحدة إلى كرة من الخلايا، ثم إلى مجموعة من الخلايا تشبه الطبق الطائر (Frisbee)، ثم إلى شيء يبدو كأنبوب بشكل غريب يتضمن أنواعاً مختلفة من الأنسجة. بين اليومين الثالث والعشرين والثامن والعشرين بعد الإخصاب، يغلظ الطرف الأمامي من الأنبوب وينطوي على الجسد، بحيث يبدو الجنين ككرة كبيرة. تحمل قاعدة هذه الكرة أساس كثير من التنظيم الأساسي لرأسنا.

تظهر أربعة انتفاخات صغيرة حول المنطقة، التي ستتطور لتصبح الحنجرة. وبعد عمر ثلاثة أسابيع تقريباً، يمكننا أن نرى أول اثنين، ثم يظهر الاثنان الآخران بعد أربعة أيام تقريباً. كل انتفاخ يبدو كأنه حدبة صغيرة للخارج: انتفاخ بسيط ينفصل عن التالي بأخدود صغير. عندما تتبع ما يحدث لهذه الانتفاخات، والأخاديد، يمكن أن تبدأ بمشاهدة نظام الرأس وجماله، بما في ذلك العصب ثلاثي التوائم، والعصب الوجهي.

ومن بين الخلايا الموجودة ضمن كل واحدة من هذه الانتفاخات، المعروفة بالأقواس، سيشكل بعضها أنسجة العظم، وأخرى العضلات، والأوعية الدموية. هناك مزيج معقد من الخلايا داخل كل واحد من هذه الأقواس، وبعض الخلايا تنقسم هناك، بينما بعضها الآخر يهاجر مسافة طويلة؛ ليدخل القوس نفسه. عندما نقوم بتحديد الخلايا وفقاً لوجهتها النهائية داخل كل واحد من هذه الأقواس، تصبح الأمور منطقية أكثر.

وفي النهاية، تشكل أنسجة القوس الأولى الفكين العلوي والسفلي، وعظمتين صغيرتين من عظام الأذن هما: المطرقة (Malleus) والسندان (Incus)، وجميع الأوعية الدموية والعضلات التي تغذيها. أما القوس الثانية فتشكل عظمة الأذن الثالثة الصغيرة المسماة بالركاب (Stapes)، وعظمة صغيرة من عظام الحنجرة، ومعظم العضلات التي تتحكم بتعابير الوجه. وتشكل القوس الثالثة العظام والعضلات، والأعصاب عميقاً في الحنجرة، وهي التي نستخدمها للبلع. وأخيراً تشكل القوس الرابعة الأجزاء الأعمق من حنجرتنا، بما في ذلك أجزاء من البلعوم، والعضلات والأوعية التي تحيط بها وتساعدها على أداء وظيفتها.

لو استطعت أن تنكمش حتى تصبح بحجم رأس الدبوس، وترتحل داخل فم جنين أثناء تطوره، سترى انبعاجات تمثل كل انتفاخ. هناك أربعة من هذه الانبعاجات. وكما هي الحال بالنسبة للأقواس في الخارج، فإن خلايا الانبعاجات تشكل تراكيب هامة. فالأول يستطيل حتى يشكل قناة استاكيوس (Eustachian Tube) وبعض التراكيب داخل الأذن. والثاني يشكل التجويف، الذي يحمل لوزتينا، أما الثالث والرابع فهما

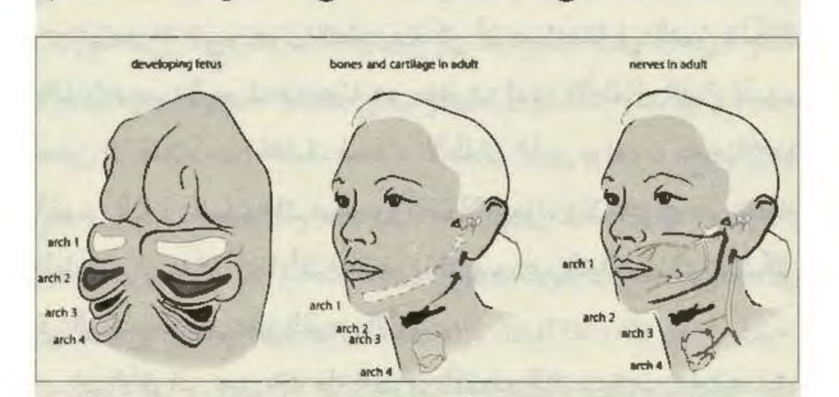
يشكلان غدداً هامة، تتضمن الغدد جارات الدرقية (Parathyroid) والزعترية (Thumus) والدرقية (Thyroid).

إن ما قدمته لك الآن، هو أحد أكبر الخدع؛ لفهم أكثر الأعصاب الرأسية تعقيداً إلى جانب الأجزاء الكبيرة من الرأس. عندما تفكر بالعصب ثلاثي التوائم، فكر بالقوس الأولى أيضاً. العصب الوجهي يعني القوس الثانية. إن السبب وراء تغذية العصب ثلاثي التوائم للفكين والأذنين، هو أن التراكيب كلها التي يغذيها، تطورت أساساً من القوس الأولى. و ينطبق الأمر ذاته على العصب الوجهي والقوس الثانية. ما الشيء المشترك بين عضلات التعابير الوجهية، وعضلات الأذن، التي يغذيها العصب الوجهي؟ إنها كلها ناشئة من القوس الثانية. أما بالنسبة لأعصاب القوسين الثالثة والرابعة، فإن مساراتها المعقدة كلها تتصل بحقيقة أنها تغذي تراكيب نشأت من أقواسها نفسها. هذه الأعصاب من القوسين الثالثة والرابعة، التي من بينها العصب البلعومي اللساني، والعصب المبهم، تتبع نمط الأعصاب نفسه في المقدمة، فكل واحد منها يمتد للتراكيب، التي نشأت من الأقواس المصاحبة لها.

إن المخطط الأساسي للرأس، يساعدنا في فهم الحكايات المشكوك في صحتها في التشريح. في عام 1820- هكذا تروى القصة- كان جوهانز غوته (Johannes Goethe) يتمشى في مقبرة يهودية في فيينا (Vienna) عندما شاهد هيكلاً عظمياً متحللاً لكبش. كانت الفقرات مكشوفة وفوقها جمجمة محطمة. في لحظة من عيد الغطاس (Epiphany)، رأى غوته أن الكسور في الجمجمة جعلتها تبدو كعقدة فوضوية من

الفقرات. بالنسبة لغوته، كشف هذا عن النمط الأساسي في الداخل: ينشأ الرأس من فقرات تلتحم، وتنمو على شكل حجرة؛ لتحمل أدمغتنا وأعضاءنا الحسية. لقد كانت هذه فكرة ثورية؛ لأنها وصلت بين الرؤوس والأجسام بوصفهما نسختين من المخطط الأساسي ذاته. ولا بد أن هذه الملحوظة كانت شائعة جداً في أوائل القرن التاسع عشر؛ لأن أناساً آخرين من بينهم لورينز أوكين (Lorenz Oken)، قد زعم أنه جاء بالفكرة نفسها تقريباً وفي وضع مشابه.

لقد كان كل من غوته وأوكين يتناولان أمراً عميقاً، على الرغم من أنهما لم يكونا يعرفان ذلك، في ذلك الحين. إن جسمنا مقسم، وهذا النمط يتضح بشكل كبير في فقراتنا. وكل فقرة عبارة عن جزء يمثل قسماً من جسمنا. إن تنظيم أعصابنا مقسم أيضاً، ومرتبط جداً بنمط الفقرات. تخرج الأعصاب من النخاع الشوكي، لتغذي الجسم.



إذا تتبعنا الأقواس الخيشومية من الأجنة إلى البالغين، يمكننا تتبع أصول الفكوك، والأذنين، والحنجرة، والحلق. تتكون العظام، والعضلات، والأعصاب، والشرايين جميعاً داخل هذه الأقواس الخيشومية.

إن التركيب التجزيئي واضح عند النظر إلى مستوى النخاع الشوكي المصاحب لكل جزء من جسمنا. فمثلاً، تتغذى عضلات أرجلنا من الأعصاب التي تخرج من الأجزاء السفلى من العمود الفقري، وليس من تلك التي تغذي أذرعنا. قد لا تبدو الرأس كذلك، ولكنها تحتوي على نمط تجزيئي عميق أيضاً. إن أقواسنا تحدد الأجزاء العظمية، والعضلات، والشرايين، والأعصاب. وإذا نظرنا إلى إنسان بالغ، فإننا لن نرى هذا النمط. إننا نراه فقط لدى الأجنة.

تفقد جماجمنا كل الأدلة الواضحة على أصولها التجزيئية كلما انتقلنا في حياتنا من الجنين إلى الإنسان البالغ. فالعظام، التي تشبه الصفائح في جماجمنا، تتشكل فوق أقواسنا الخيشومية، والعضلات، والشرايين، التي لها جميعاً النمط التجزيئي نفسه في المراحل الأولى، ويتم جمعها معاً؛ لينشأ عنها رأسنا كبالغين.

إن معرفة شيء حول التطور، يمكن أن يساعدنا في التنبؤ بالمكان ،الذي يجب البحث فيه عمّا هو مفقود، لدى الأطفال الذين لديهم بعض الاختلالات الخلقية. فمثلاً، الأطفال الذين يولدون مع متلازمة القوس الأولى لديهم فك صغير، وآذان لا تعمل، ولا تحتوي على عظام المطرقة والسندان. إن الأشياء المفقودة لديهم، هي التراكيب التي تتشكل في الوضع الطبيعي من القوس الأولى.

إن الأقواس هي خارطة الطريق للقطع الرئيسية من الجمجمة، من أكثر الأعصاب الرأسية تعقيداً إلى العضلات، والشرايين، والعظام، والغدد الداخلية. إن الأقواس هي دليل على شيء آخر

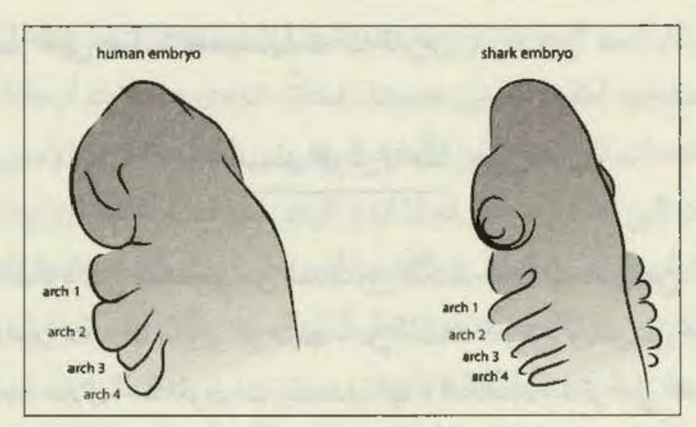
أيضاً: على صلتنا العميقة بأسماك القرش.

سمك القرش داخلنا

الفكرة التي نستنتجها من العديد من النُّكت حول المحامين هي: أن المحامين يمكن أن يكونوا نوعاً نهماً من أسماك القرش. وبتدريس علم الأجنة خلال أحد الموضات المتجددة لهذه النكات، أتذكر أنني كنت أفكر أن النكتة تصفنا جميعاً. إننا جميعاً عبارة عن أسماك قرش معدلة أو الأسوأ من ذلك، هناك محامٍ داخل كل واحد منّا.

كما رأينا، فإن العديد من أسرار الرأس تقبع ضمن الأقواس، الانتفاخات التي تشكل خارطة طريق للأعصاب الرأسية المعقدة والتراكيب الأساسية داخل الرأس. إن هذه الانتفاخات والتبعجات التي تبدو غير هامة، قد استحوذت على مخيلة علماء التشريح لما يزيد على 150 عاماً؛ لأنها تبدو كالشقوق الخيشومية في منطقة الحنجرة لدى الأسماك والقروش.

إن أجنة الأسماك لديها هذه النتوءات والانبعاجات أيضاً. ففي الأسماك، تنتفح الانبعاجات في النهاية؛ لتشكل الفراغات بين الخياشيم حيث يتدفق الماء. أما لدينا، فإن الانبعاجات عادة تنغلق. في الحالات غير الطبيعية، تفشل الشقوق الخيشومية في الانغلاق وتبقى مفتوحة كجيوب أو أكياس. التكيس الخيشومي، مثلاً، غالباً ما يكون كيساً حميداً مملوءاً بالسوائل، يتشكل في الجيب المفتوح داخل الرقبة، ينشأ



منطقة الخيشوم في جنين بشري وفي جنين سمكة قرش تبدوان متشابهتان في البدايات.

الجيب بسبب فشل القوس الثالثة، أو الرابعة في الانغلاق. وفي حالات نادرة، يولد الأطفال مع أثر حقيقي لغضروف قوس خيشومي قديم، وعو عبارة عن عصية صغيرة تمثل عمود خيشوم من القوس الثالثة. في هذه الحالة، فإن زملائي من الجراحين يقومون بإجراء عملية على سمكة داخلية عادت لسوء الحظ؛ لتعضّنا.

إن كل رأس علا كل حيوان من القروش إلى الإنسان يشترك بتلك الأقواس الأربعة في تطورها. إن لذة الموضوع تكمن في ما يحدث داخل كل قوس. هنا، يمكننا أن نعقد مقارنة نقطة بنقطة، بين رؤوسنا نحن ورؤوس تلك القروش.

انظر إلى القوس الأولى في كل من الإنسان والقرش، سوف تجد علاقة متشابهة جداً: الفكين. الاختلاف الرئيسي هو أن القوس الأولى لدى الإنسان تشكل أيضاً بعض عظام الأذن، وهو ما لا نراه

لدى القرش. ومن غير المفاجئ أن يكون العصب الرأسي، الذي يغذي الفكين في كل من الإنسان والقرش، هو عصب القوس الأولى: العصب ثلاثي التوائم.

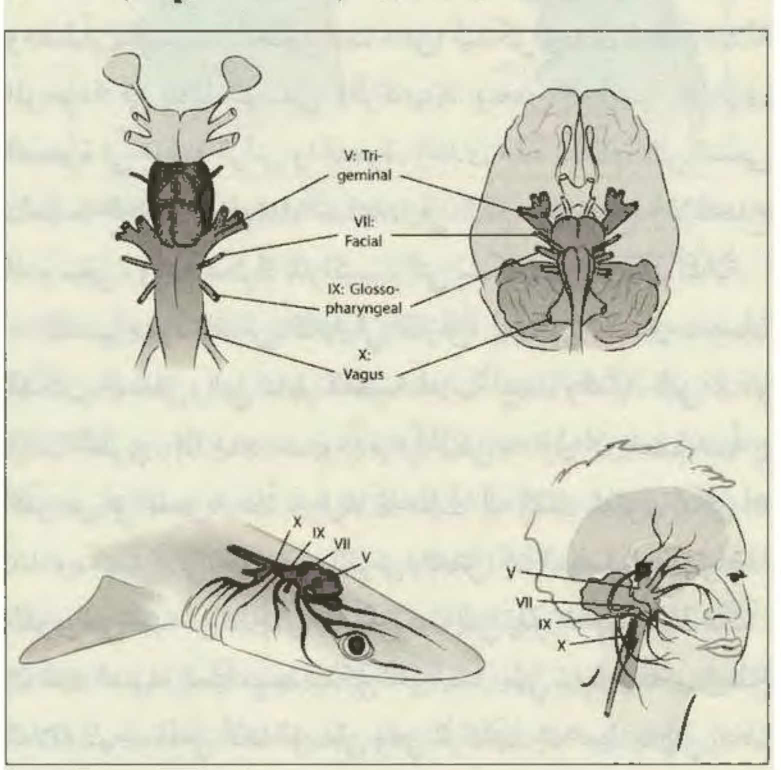
تنقسم الخلايا داخل القوس الثانية، وتتغير وتنشئ عموداً غضروفياً وعضلياً. ينقسم هذا العمود لدينا نحن؛ ليشكل إحدى العظام الثلاثة الموجودة في أذننا الوسطى (الركاب)، وبعض التراكيب الأخرى الصغيرة في قاعدة الرأس والحنجرة. إحدى هذه العظام، التي تسمى بالعظمة اللامية (Hyoid)، تساعدنا في البلع. والتجرع والاستماع للموسيقى، وقدم شكرك للتراكيب، التي تشكلت من قوسك الثانية.

ينقسم عمود القوس الثانية في القرش؛ ليشكل عظمتين تدعمان الفكين: السفلى، التي تناظر العظمة اللامية لدينا، والعليا، التي تدعم الفك العلوي. إذا شاهدت يوماً قرشاً أبيض يحاول أن يقضم شيئاً – كغواص في قفص، مثلاً – لربما لاحظت أن الفك العلوي يمكن أن يمتد وينكمش، في حين يقوم القرش بالعض. إن العظمة العليا من هذا القوس هي جزء من نظام الرافعة العظمية، التي تدور لتجعل ذلك ممكناً. إن تلك العظمة العليا مهمة بشكل آخر أيضاً. فهي تناظر إحدى العظام الثلاثة الموجودة في أذننا الوسطى وهي الركاب. إن العظام، التي تدعم الفكين العلوي والسفلي لدى القرش، تستخدم لدينا للبلع والسمع.

أما بالنسبة للقوسين الثالثة والرابعة، فإننا نجد أن العديد من التراكيب، التي نستخدمها للكلام والبلع هي – في القرش – أجزاء من أنسجة تدعم الخياشيم. إن العضلات والأعصاب الرأسية، التي نستخدمها للبلع

والكلام، تقوم على تحريك الخياشيم لدى القرش والسمك.

قد يبدو رأسنا معقداً بشكل لا يوصف، لكنه مبني من مخطط بسيط وأنيق. هناك نمط مشترك لكل جمجمة على وجه البسيطة، سواء أكانت تلك الجمجمة تعود لقرش، أم سمك عظمي، أم السلمندر



للوهلة الأولى، تبدو أعصابنا الرأسية (أسفل اليمين) مختلفة عن تلك الموجودة لدى القروش (أسفل يسار). ولكن إذا نظرت عن كثب، ستجد تشابهات واضحة. كل أعصابنا موجودة لدى القروش أيضاً. والشبه يمضي عميقاً أكثر: فالأعصاب المتناظرة لدى كل من الإنسان والقرش تغذي أجزاء متشابهة، وحتى أنها تخرج من الدماغ ب الترتيب نفسه (أعلى يمين ويسار).

(Salamander)، أم البشر. إن اكتشاف هذا النمط كان إنجازاً هاماً لعلم التشريح في القرن التاسع عشر. وهو الوقت، الذي كان علماء التشريح يضعون أجنة أنواع الأجناس كلها تحت المجهر. ففي عام 1972، رأى عالم التشريح فرانسيس ميتلاند بلفور (Francis Maitland Balfour) في أوكسفورد (Oxford)، للمرة الأولى المخطط الأساسي للرأس عندما ألقى نظرة على القرش ورأى النتوءات، وأقواس الخياشيم، والتراكيب داخلها.

لسوء الحظ، فقد مات بعدها بوقت قصير في حادث تسلق في جبال الألب السويسرية (Swiss Alps). وكان في الثلاثينيات من عمره.

جينات قوس الخيشوم

خلال الأسابيع الأولى بعد الإخصاب، يتم تنشيط مجموعات كاملة من الجينات، وتثبيطها في أقواسنا الخيشومية، وفي الأنسجة كلها، التي سوف تصبح دماغنا المستقبلي. إن هذه الجينات تقوم بإعطاء التعليمات للخلايا؛ لتقوم بصناعة الأجزاء المختلفة من رأسنا. لنفكر بكل منطقة من رأسنا، كأن لها عنواناً جينياً يجعلها مميزة. ولنقم بتعديل ذلك العنوان الجيني، وسوف نتمكن من تعديل أنواع التراكيب التي تتطور هناك.

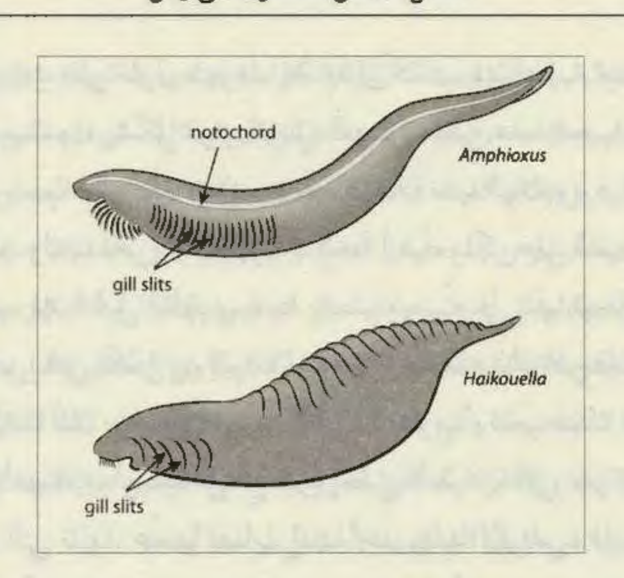
فمثلاً، ينشط جين يعرف باسم أوتكس (Otx) في المنطقة الأمامية، حيث يتشكل القوس الخيشومي الأول. وخلفها باتجاه مؤخرة الرأس، تنشط عدد من الجينات المسماة هوكس (Hox). كل قوس خيشومي له

تكملة مختلفة من جينات هوكس النشطة فيه. بهذه المعلومة، يمكننا أن نضع خريطة لأقواسنا الخيشومية وكوكبة الجينات النشطة في كل واحد منها.

يمكننا الآن أن نقوم بتجارب: غير العنوان الجيني لقوس خيشومي واحد إلى آخر. خذ جنين ضفدع، قم بتثبيط بعض الجينات، واجعل الإشارات الجينية كتلك الموجودة في القوسين الأولى والثانية، وسوف ينتهي بك الأمر بضفدع لديه فكان: سوف يتطور فك سفلي في المكان، الذي يجب أن تتطور فيه العظمة اللامية في الوضع الطبيعي. قم بتغيير العنوان، وسوف تغير التراكيب في القوس، إن القدرة الكامنة في هذا التوجه، هي أن بإمكاننا الآن أن نتلاعب بالتصميم الأساسي للرؤوس: يمكننا أن نتلاعب بهوية الأقواس الخيشومية أنّى شئنا تقريباً، بتغيير نشاط الجينات داخلها.

تتبع الرؤوس: من العجائب التي لا رؤوس لها إلى أسلافنا ذات الرؤوس

لَمَ نتوقف عند الضفادع وأسماك القرش؟ ولَمَ لا نوسع مقارناتنا إلى مخلوقات أخرى كالحشرات أو الديدان؟ ولكن لَمَ نفعل ذلك بينما لا تمتلك أي من هذه المخلوقات جمجمة، ولا حتى أعصاباً رأسية؟ حتى إنها جميعاً لا عظام لها. عندما نترك الأسماك لنبحث في الديدان، فإننا ننتقل إلى عالم طريّ جداً بلا رأس. ولكن إذا نظرت بتمعن، فإن أجزاءً منّا موجودة هناك.



الأقارب الأقرب للإنسان برؤوس هي الديدان ذات الشقوق الخيشومية. يظهر هنا السهيم وإعادة بنائه لدودة مستحاثة (الهيكوييلا Haikouella)، عمرها يزيد على 530 مليون سنة. كلا الدودتين لهما حبل ظهري، وحبل عصبي، وشقوق خيشومية. هذه الدودة المستحاثة معروفة من أكثر من ثلاثمئة عينة مفردة من جنوب الصين.

إن أولئك الذين يدرّسون منّا، التشريح المقارن لطلاب المرحلة الجامعية الأولى عادة ما يبدؤون المساق بشريحة للسهيم (Amphioxus). وفي كل أيلول، تظهر مئات من شرائح السهيم على الشاشات في قاعات المحاضرات في الجامعات من ماين (Maine) إلى كاليفورنيا (California). لماذا؟ هل تتذكر الانقسام البسيط بين الفقاريات واللافقاريات؟ إن السهيم دودة، لافقارية، تشترك بالعديد من السمات مع الحيوانات ذات العظام الفقرية كالأسماك، والبرمائيات والثدييات. ليس لدى السهيم عظام فقرية، لكنها كالفقاريات جميعها، لديها حبل

عصبي يمتد على طول ظهرها. إضافة إلى ذلك، فإن عصية تمتد على طول جسمها، بشكل مواز للحبل العصبي. تمتلئ هذه العصية، التي تعرف باسم الحبل الظهري (Notochord).بمادة تشبه الهلام ويوفر الدعم للجسم. ولدينا نحن حبلاً ظهرياً كالأجنة أيضاً، ولكن على النقيض من السهيم، فإن الحبل الظهري لدينا ينقسم ويصبح في النهاية جزءاً من الأقراص، التي تكمن بين فقراتنا. إذا فجر أحد هذه الأقراص فإن المادة الهلامية لما كان مرة حبلاً ظهرياً، يمكن أن تخرب وتدمر عندما تضغط على الأعصاب، أو تتداخل مع قدرة إحدى الفقرات على الحركة على الفقرة التي تليها. عندما يصاب لدينا أحد بهذه الأقراص، فإن جزءاً قديماً جداً من مخطط جسمنا سوف ينفجر، شكراً للسهيم.

إن السهيم ليس فريداً بين الديدان. بعض الأمثلة الأفضل ليست موجودة في المحيطات اليوم، بل هي في صخور الصين وكندا. مدفونة في الرسوبيات، التي يزيد عمرها على 500 مليون سنة، وهي ديدان صغيرة تفتقر للرؤوس، أو الأدمغة المعقدة، أو الأعصاب الرأسية. قد لا تبدو شيئاً مهماً، حيث تظهر كلطخات صغيرة في الصخور، ولكن حفظ هذه المستحاثات أمر لا يصدق. عندما تنظر تحت المجهر، تجد طبعات محفوظة جيداً يظهر تشريحها الطري بتفاصيل دقيقة. وحتى أنك أحياناً قد تجد طبعة للجلد. وهي تظهر شيئاً آخر رائع أيضاً. إنها أوائل المخلوقات، التي لديها حبل ظهري وأحبال عصبية. هذه الديدان تخبرنا بشيء حول أصل أجزاء من جسمنا.

ولكن هناك شيء آخر نشترك به مع هذه الديدان الصغيرة: الأقواس

الخيشومية. إن السهيم، مثلاً، لديه أقواس خيشومية كثيرة، ويشترك مع كل قوس منها بعمود صغير من الغضاريف. وكالغضاريف، التي تشكل فكوكنا، وعظام أذنينا، وأجزاءً من حنجرتنا، فإن هذه العصي تدعم شقوق الخيشوم. إن جوهر أصل رأسنا يعود إلى الديدان، مخلوقات ليس لديها رأس أصلاً. ماذا تفعل السهيم بالأقواس الخيشومية؟ إنها تقوم بضخ الماء فيها؛ لتنقية الحبيبات الصغيرة من الطعام. ومن مثل هذه البداية المتواضعة، يأتي التركيب الأساسي لرؤوسنا. تماماً كالأسنان، والجينات، والأطراف، التي تطورت وأعيد توجيه وظائفها على مر العصور، هي لديها التركيب الأساسي لرأسنا أيضاً.

الفصل السادس

أفضل خرائط الجسد

إننا عبارة عن حزمة تتكون مما يقارب 2 تريلليون خلية مجمعة بطريقة دقيقة جداً. إنّ أجسادنا موجودة في ثلاثة أبعاد، وخلايانا، وأعضاءنا موجودة في مكانها المناسب. الرأس على القمة، والحبل الشوكي باتجاه ظهرنا، وأمعاؤنا موجودة على جانب البطن. ذراعانا ورجلانا على الجوانب. إن هذه المعمارية الأساسية تميزنا عن المخلوقات البدائية المنظمة على شكل كتل، أو أقراص من الخلايا.

إن التصميم نفسه أيضاً، جزء مهم من أجسام مخلوقات أخرى. فكما لدى الأسماك، والسحالي، والأبقار أجسامٌ متماثلة لها مقدمة وخلفية، وقمة وقاع، ويسار ويمين لدينا. إن نهاياتها الأمامية (التي تناظر القمة في الإنسان الواقف) جميعاً لها رؤوس، مع أعضاء حواس وأدمغة داخلها. ولديها حبل شوكي يمتد على طول الجسم في منطقة الظهر. وكما نحن أيضاً، فإن لها شرج، وهو موجود على الجهة المعاكسة للفم من أجسامها. الرأس على النهاية الأمامية من الجسم، بالاتجاه، الذي تسبح فيه أو تمشي به عادة. وكما يمكنك أن تتصور، فإن وجود الشرج من الجهة الأمامية لن يؤدي وظيفته بشكل جيد في معظم الأحوال، خصوصاً في الحيوانات المائية. كما

أن الأوضاع الاجتماعية ستكون مشكلة أيضاً.

من الأصعب إيجاد تصميمنا الأساسي في حيوانات بدائية حقاً - كقنديل البحر، مثلاً. إنّ لِقنديل البحر نوعاً مختلفاً من خارطة الجسد: فخلاياه منظمة بأقراص لها قمة وقاع. وليس لديه مقدمة ومؤخرة، ولا رأس وذيل، ولا يمين ويسار، إن تنظيم قنديل البحر يبدو مختلفاً جداً عن تنظيمنا نحن. لا تتعب نفسك بمحاولة مقارنة جسمك بإسفنج. يمكنك أن تحاول، ولكن الحقيقة الأكيدة هي أن محاولتك تلك سوف تكشف شيئاً ذهنياً أكثر منه تشريحياً. من أجل مقارنة نفسنا بشكل مناسب مع هذه الحيوانات البدائية، سنحتاج إلى بعض الأدوات. تماماً كما هي الحال في رؤوسنا وأطرافنا، فإن تاريخنا مكتوب في تطورنا من البويضة إلى البلوغ. إن الأجنة تحمل الأدلة على بعض الألغاز الظاهرة للحياة. كما أن لديها القدرة على تفصيل خريطة جسدي.

الخريطة المشتركة : مقارنة الأجنة

دخلت كلية الدراسات العليا؛ لدراسة الثدييات المستحاثة، وانتهى بي المطاف بعد ثلاث سنوات؛ لدراسة الأسماك والبرمائيات من أجل أطروحتي. إن هبوطي من الجنة- إذا ناسبك ذلك التعبير- حصل عندما بدأت البحث في الأجنة. لدينا الكثير من الأجنة في المختبر: يرقات السلمندر، أجنة أسماك، وحتى بيض دجاج مخصب. وكنت أضعها دوماً تحت المجهر لرؤية ما يحدث.

تبدو أجنة جميع الأجناس كبقع صغيرة بيضاء من الخلايا، لا يزيد طولها عن ثماني بوصات. لقد كان من المثير مشاهدة تقدم نموها وتطورها، فكلما كبر الجنين، صغر المح، مصدر غذائه، أكثر فأكثر. وبحلول الوقت الذي يختفي فيه المح، يكون الجنين عادة كبيراً كفاية ليفقس.

إن مشاهدة عملية التطور، قد حققت لي تحولات فكرية هائلة. فمن مثل هذه البدايات الجنينية - كتل صغيرة من الخلايا - جاءت طيور معقدة، وضفادع، وسلمون مكونةً تريليونات الخلايا المرتبة بشكل صحيح. ولكن كان هناك المزيد. كانت أجنة الأسماك، والبرمائيات، والدجاج مختلفة عن أي شيء رأيته من قبل في عالم الأحياء. إنها جميعاً تبدو متشابهة بشكل عام. فجميعها لها رأس مع أقواس خيشومية. وجميعها لديها دماغ صغير، يبدأ تطوره بثلاث انتفاخات. وجميعها لديها براعم طرفية. في الحقيقة، كانت الأطراف ستصبح أطروحتي، وتركيزي البحثي خلال السنوات الثلاثة التالية. هنا، في مقارنتنا لكيفية تطور الهيكل في الطيور، والسلمندر، والضفادع والسلاحف، كنت أجد أن الأطراف المختلفة كأجنحة الطيور وأرجل الضفادع، بدت متشاهبة جداً خلال التطور. وبرؤيتي لهذه الأجنة، كنت أنظر إلى معمارية مشتركة. انتهى الأمر بهذه الأجناس بأشكال مختلفة، لكنها بدأت بشكل عام من المكان ذاته. وبالنظر إلى الأجنة، يبدو غالباً أن الاختلافات بين الثدييات، والطيور، والبرمائيات، والأسماك ببساطة تتلاشى مقارنة بالشبه الأساسي فيها. ثم علمت بأعمال كارل إيرنست

فور بيير (Karl Ernst von Baer).

بحث بعض الفلاسفة الطبيعيين في أوائل القرن التاسع عشر، الأجنة؛ ليجدوا المخطط المشترك للحياة على الأرض. الشخص الأبرز بين هؤلاء كان كارل إيرنست فون بيير. ولد بيير لعائلة نبيلة، وقد تدرب في البدء؛ ليكون طبيباً. اقترح مرشده الأكاديمي أن يدرس تطور الدجاج، وأن يحاول فهم كيفية تطور الأعضاء.

لسوء الحظ، لم يكن فون بيير قادراً على توفير حاضنات للعمل على الدجاج، ولم يكن قادراً على توفير كثيرٍ من البيض. لم يكن ذلك واعداً جداً. ولحسن حظه، كان لديه صديق غني. كريستيان باندر، يمكنه توفير ما يلزم للقيام بالتجارب. عندما بحثا في الأجنة، وَجَدا شيئاً أساسياً: الأعضاء كلها في الدجاج، يمكن تتبعها وصولاً إلى واحدة من ثلاث طبقات من الأنسجة في الجنين المتطور. وقد عرفت هذه الطبقات الثلاث فيما بعد بالطبقات الجرثومية. لقد حققا شهرة أسطورية، لا تزال حتى يومنا هذا.

أعطت طبقات باندر الثلاث لفون بيير، وسيلة لطرح أسئلة مهمة. هل تشترك الحيوانات جميعها بهذا النمط؟ هل القلوب، والرئات، والعضلات لدى كل الحيوانات تنتج من هذه الطبقات؟ والأهم من ذلك، هل تتطور الطبقات الثلاث نفسها إلى نفس الأعضاء في الأجناس المختلفة؟

قارن فون بيير طبقات باندر الثلاث في أجنة الدجاج مع كل شيء آخر طالته يداه: الأسماك، الزواحف، والثدييات. نعم، إن كل عضو في

كل حيوان قد نشأ من هذه الطبقات الثلاث. ومن الجدير بالذكر، أن الطبقات الثلاث شكلت التراكيب نفسها في كل الأجناس. كل قلب لكل جنس تشكل من الطبقة نفسها، وأعطت طبقة أخرى الأدمغة للحيوانات جميعاً، وهكذا. وبغض النظر عن مدى الاختلاف بين الأجناس ككائنات بالغة، فإنها كأجنة صغيرة جميعاً تمر بمراحل التطور نفسها.

من أجل تثمين أهمية هذا بشكل تام، علينا أن نلقي نظرة ثانية على الأسابيع الأولى في حياتنا بعد الإخصاب. عند التلقيح، تحصل تغييرات هامة داخل البويضة، تلتحم المادة الوراثية للحيوان المنوي مع البويضة، وتبدأ البويضة بالانقسام. في النهاية تشكل الخلايا كرة. وفي الإنسان، على مدى الأيام الخمسة الأولى، ينقسم الجسم المكون من خلية واحدة أربع مرات؛ لإنتاج كرة تتكون من ست عشرة خلية. تعرف هذه الكرة من الخلايا باسم الكيسة الأريمية (Blastocyst)، وتشبه بالوناً مملوءاً بالسوائل. يحيط بالسائل في المركز جدار كروي رفيع من الخلايا. عند مرحلة الكيسة الأرومية هذه، لا يبدو أن هناك أي أثر لأي خريطة جسمية، فليس هناك مقدمة أو مؤخرة، وطبعاً ليس هناك أي نوع من الأعضاء، أو الأنسجة المختلفة حتى الآن. في اليوم السادس تقريباً من الإخصاب، تصل كرة الخلايا إلى رحم الأم، وتبدأ بعملية الاتصال به، حيث يمكن أن يشترك كل من الأم والجنين بالدم. وحتى الآن لا يزال الدليل على خريطة جسدية غير موجود. إن من الصعب أن تميز من هذه الكرة من الخلايا أي شيء يمكن التعرف عليه على أنه ثديي، أو زاحف،

أو سمكة، ولا حتى إنسان.

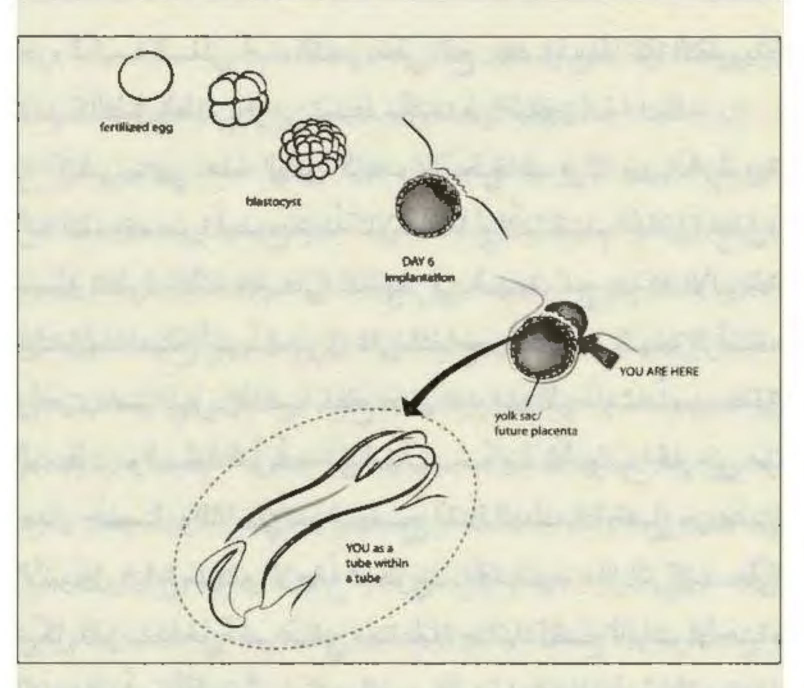
إن حالفنا الحظ، فإن كرة الخلايا هذه تنزرع في رحم أمنا. عندما تنزرع الكيسة الأرومية في مكان خطأ – أي عندما يحصل انزراع خارج الرحم – فإن النتائج قد تكون خطرة. ما يقارب 96 بالمئة من الانزراعات خارج الرحم، تحصل في قناة الرحم (قناة فالوب) قريباً من منطقة الإخصاب. أحياناً يحجز المخاط المرور السهل للكيسة الأرومية إلى الرحم، مسبباً بذلك انزراعها بشكل غير ملائم في القناة. يمكن للحمل خارج الرحم أن يسبب انفجاراً خطراً للأنسجة، إن لم يتم تشخيصه في الوقت المناسب. وفي بعض الحالات النادرة حقاً، تطرد الكيسة إلى جوف جسم الأم، في الفراغ بين أمعائها وجدار الجسم. وفي بعض الحالات الأكثر ندرة، قد تنزرع الكيسة في الجدار الخارجي لمستقيم الام، أو رحمها، ويتطور الجنين تطوراً كاملاً! مع أن هذه الأجنة يمكن أن يتم توليدها أحياناً عن طريق جراحة البطن، إلا أن مثل هذا الانزراع خطير جداً؛ لأنه يزيد احتمالية وفاة الأم بسبب زيادة فرصة الإصابة بالنزيف 90 مرة، مقارنة بالحمل العادي داخل الرحم.

وعلى أية حال، في هذه المرحلة من التطور، نكون كمخلوقات متواضعة المظهر. قريباً من بداية الأسبوع الثاني بعد الإخصاب، تكون الكيسة الأرومية قد انزرعت، وانغمس جزء من الكرة بجدار الرحم، ويبقى الجزء الآخر حراً. تخيل بالوناً مدفوعاً على الجدار: هذا الجزء القرصي المسطح يصبح جنين الإنسان. إن جسمنا كله يتشكل من الجزء العلوي فقط من هذه الكرة، الجزء، الذي يكون مضغوطاً على الجدار.

جزء الكيسة السفلي تحت القصر يغطي المح. عند هذه المرحلة التطورية، نبدو كالطبق الطائر، قرص بسيط مكون من طبقتين.

كيف ينتهي هذا الطبق البيضوي بطبقات فون بيير الجرثومية الثلاث، ويستمر؛ ليصبح شيئاً كالإنسان؟ أولاً، تنقسم الخلايا وتنتقل، مسببة انطواء الأنسجة على نفسها. في النهاية، مع حركة الأنسجة والتفالها، نصبح أنبوباً يحتوي على انتفاخ مطوي عند النهاية الرأسية، وأخرى عند الذيل. إذا قمنا بقطع جنين عند هذه المرحلة تماماً من منطقة الوسط، سوف نجد أنبوباً داخل أنبوب. سيكون الأنبوب الخارجي هو جدار جسمنا، والداخلي سوف يصبح القناة الهضمية. يفصل بين هذين الأنبوبين فراغ سيصير لاحقاً التجويف الجسدي. هذا التركيب على شكل أنبوب داخل آخر سيبقى معنا طيلة حياتنا. يصبح أنبوب الأحشاء أكثر تعقيداً مع تكون كيس كبير ليصبح المعدة، والتفافات طويلة معوية. الأنبوب الخارجي معقد بالشعر، والجلد، والأضلاع، والأطراف التي تدفع للخارج. ولكن المخطط الأساسي يبقى قائماً. قد نكون معقدين أكثر مما كنا عليه بعد واحد وعشرين يوماً من الإخصاب، ولكننا لا نزال أنبوباً داخل آخر، وجميع أعضائنا مشتقة من واحدة من الطبقات النسيجية الثلاث، التي ظهرت في أسبوعنا الثاني بعد الإخصاب.

إن أسماء الطبقات الثلاث هذه مستمدة من موقعها: الطبقة الخارجية تسمى الأدمة الخارجية (Ectoderm)، والداخلية تسمى الأدمة الداخلية (Endoderm)، والوسطى تسمى بالأدمة الوسطى (Mesoderm). تشكل الأدمة الخارجية معظم أجزاء الجسم الخارجية

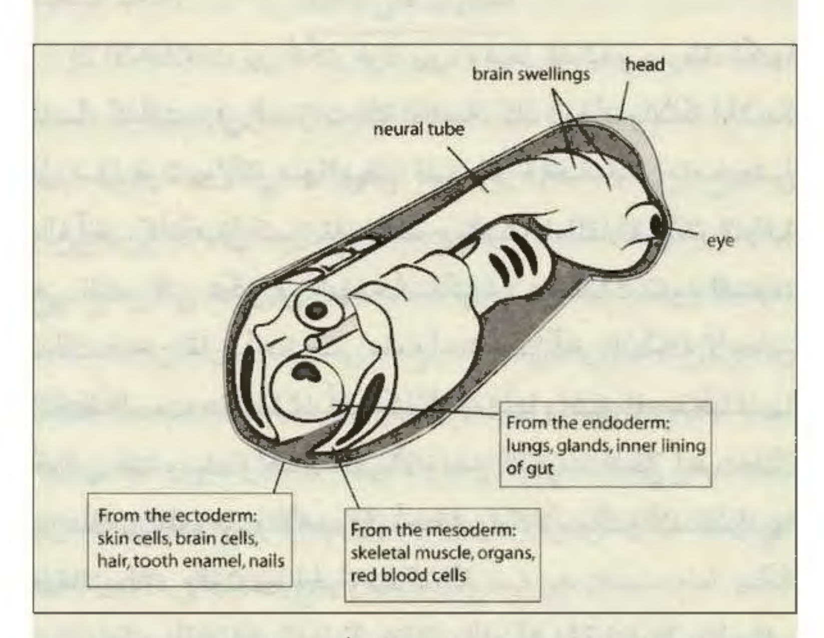


أيامنا الأولى، الأسابيع الأولى بعد الإخصاب. ننتقل من خلية واحدة إلى كرة من الخلايا، وننتهي كأنبوب.

(الجلد) والجهاز العصبي.

أما الأدمة الداخلية، فتشكل العديد من التراكيب الداخلية للجسم بما في ذلك القناة الهضمية، والغدد العديدة التي ترافقها. أما الطبقة الوسطى، الأدمة الوسطى، فهي تشكل الأنسجة بين الأمعاء والجلد، بما في ذلك معظم الهيكل العظمي والعضلات. وإن كان الجسم ينتمي لسمكة سلمون، أو دجاجة، أو ضفدع أو فأر، فإن كل أعضائها تتشكل من الطبقات الجرثومية الثلاث هذه.

رأى فون بيير كيف أن الأجنة تكشف الأنماط الأساسية للحياة. لقد قارن نوعين من السمات في التطور: السمات، التي تشترك بها كل الأجناس، والسمات، التي تختلف من جنس لآخر. إن سمات، كترتيب أنبوب داخل آخر، مشتركة بين الحيوانات كلها، التي لها عمود فقري كالأسماك، والبرمائيات، والزواحف، والطيور، والثدييات. وهذه السمات الشائعة تظهر تقريباً في وقت مبكر من التطور. السمات، التي تميز بيننا - الدماغ الأكبر في الإنسان، القوقعة على السلحفاة، والريش على الطيور - تظهر في وقت لاحق نسبياً.



بعمر أربعة أسابيع بعد الإخصاب، نصبح أنبوباً داخل آخر، ولدينا الطبقات الجنينية الثلاث، التي سوف تنشئ أعضائنا كلها.

إن توجه فون بيير مختلف جداً عن فكرة «التطور يلخص النشوء (ontogeny recapitulates phylogeny)»، التي قد تكون درستها في المدرسة. قارن فون بيير ببساطة الأجنة، ملاحظاً أن أجنة الأجناس المختلفة تبدو متشابهة أكثر مما تبدو عليه الكائنات البالغة منها. إن توجه التطور يلخص النشوء، قد عاش عقوداً بعدها على يد إرنست هيغل (Ernst Haeckel)، الذي زعم أن كل جنس يتتبع تاريخ مساره النشوئي خلال تطوره. ووفقاً لذلك، فإن جنين الإنسان قد مر بمرحلة السمكة، ثم الزاحف، ثم الثديي. كان هيغل يقارن جنين الإنسان بسمكة أو، سحلية كاملة.

إن الاختلافات بين أفكار فون بيير، وهيغل قد تبدو بسيطة، لكنها ليست كذلك. وفي السنوات المئة الماضية، كان الوقت والأدلة الجديدة إلى صف فون بيير أكثر منها لهيغل. ففي مقارنة أجنة جنس ما مع جنس بالغ آخر، كان هيغل كمن يقارن التفاح بالبرتقال. المقارنة الأكثر منطقية هي تلك، التي يمكن في النهاية أن تكشف عن آليات تقود النشوء. لذلك، فنحن نقارن أجنة جنس ما مع أجنة جنس آخر. إن أجنة الأجناس المختلفة ليست متطابقة تماماً، ولكن الشبه بينها واضح. فجميعها لديها أقواس خيشومية، وأحبال ظهرية، وتبدو كأنبوب داخل آخر خلال مرحلة من تطورها. والأهم، فإن أجنة مميزة كالأسماك والإنسان لديها طبقات باندر وفون بيير الجرثومية الثلاثة.

إن هذه المقارنات كلها تقودنا إلى القضية الحقيقية على المحك. كيف يعرف الجنين أن عليه أن يطور رأساً في النهاية الأمامية وشرجاً في

الخلف؟ ما هي الآلية، التي تقود التطور وتجعل الخلايا والأنسجة قادرة على تشكيل الأجسام؟ للإجابة على هذه الأسئلة هناك حاجة لأسلوب جديد تماماً. بدلاً من مقارنة الأجنة فحسب كما في أيام فان بير، علينا أن نجد طريقة جديدة لتحليلها. لقد قاد الجزء الآخير من القرن التاسع هذه الحقبة، وهو ما ناقشناه بداية في الفصل الثالث، عندما كانت الأجنة تقطع وتزرع الأنسجة، وتقسم وتعالج بكل أنواع الكيماويات، التي يمكن تخيلها. كل ذلك كان باسم العلم.

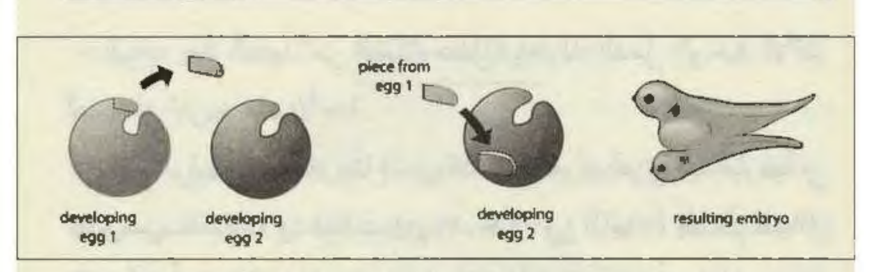
التجارب على الأجنة

كان علماء الأحياء عند انعطافة القرن العشرين، يتشبثون بأسئلة أساسية حول الأجسام. أين تقبع المعلومات في الأجنة حول كيفية بنائها؟ وهل هذه المعلومات موجودة في كل خلية، أم في بقع من الخلايا؟ وما هو الشكل، الذي تتخذه هذه المعلومات – هل هي نوع خاص من الكيماويات؟

بدايةً، في عام 1903، بدأ العالم الألماني هانز سبيمان (Hans Spemann) البحث عن كيفية تعلم الخلايا بناء الأجسام خلال التطور. كانت غايته هي إيجاد مكان وجود المعلومات حول بناء الجسم. لقد كان السؤال الكبير أمام سبيمان هو فيما إذا كانت جميع الخلايا في الجنين لديها معلومات كاملة لبناء الأجسام كافة، أو فيما إذا كانت المعلومات محصورة بأجزاء معينة من الجنين المتطور؟

بالعمل مع بيوض سلمندر الماء، التي يعد إيجادها سهلاً والتعامل معها في المختبر سهلاً نسبياً، صمم سبيمان تجربة ذكية. قام بقص خصلة من شعر ابنته الرضيعة، وعمل منها حبلاً دقيقاً. إن شعر الرضيع مادة مذهلة؛ ناعمة، رفيعة، ومرنة. لقد شكلت المادة المثالية لربط كرة صغيرة كبيوض السلمندر. قام سبيمان بذلك على بيضة سلمندر في مرحلة التطور تماماً، قابضاً جانباً عن الآخر. ومتلاعباً بأنوية الخلايا قليلاً، ترك البدعة الجديدة لتتطور، ولاحظ ما حدث. لقد شكل الجنين توأماً: حيوانا سلمندر كاملين قد نشأا، كل واحد لديه جسم كامل وحي تماماً. كانت النتيجة واضحة: يمكن أن يتطور من بيضة واحدة أكثر من فرد واحد. وهذا هو الحال في التوائم المتطابقة. حيوياً، أثبت سبيمان أنه في الجنين المبكر، بعض الخلايا لديها القدرة على تشكيل فرد جديد بمفردها.

هذه التجربة كانت بداية لطور جديد من الاكتشافات فحسب. في العشرينيات من القرن العشرين، بدأت هيلدا مانغولد (Hilde Mangold)، وهي طالبة دراسات عليا في مختبر سبيمان بالعمل على الأجنة الصغيرة. إن قدرتها على التحكم الدقيق بأصابعها قد مكنها من القيام ببعض التجارب، التي تتطلب دقة عالية بشكل لا يصدق. عند مرحلة التطور، التي عملت عليها مانغولد، كان جنين السلمندر عبارة عن كرة لا يزيد قدرها عن واحد من ست عشرة من البوصة. لقد قامت بسحب حلقة دقيقة من الأنسجة، أصغر من رأس الدبوس، من جزء واحد من الجنين، وقامت بزرعها على جنين حيوان من جنس



بنقل بقعة صغيرة فقط من النسيج في الجنين، أنتجت مانغولد توأماً.

آخر. ما زرعته مانغولد لم يكن أية بقعة، ولكنها منقطة حيث كانت الخلايا فيها معظم الطبقات الجرثومية الثلاث ستتشكل وتنطوي بها. لقد كانت مانغولد ماهرة جداً، بحيث تمكن الأجنة المزروعين من متابعة النمو، مقدمة لها مفاجأة سارّة. لقد قادت البقعة المزروعة إلى تكوين جسم جديد تماماً، يحتوي على حبل شوكي، وظهر، وبطن، وحتى رأس.

ما أهمية هذا كله؟ لقد اكتشفت مانغولد بقعة صغيرة من الأنسجة، التي كانت قادرة على قيادة بقية الخلايا؛ لتكوين مخطط جسدي كامل. إن البقعة الدقيقة الهامة جداً من النسيج، التي تحتوي على هذه المعلومات كلها، كانت تعرف باسم المنظم (Organizer). إن أعمال مانغولد التشريحية كانت في النهاية سبباً لفوزها بجائزة نوبل، ولكن ليس لها. لقد توفيت هيلدا مانغولد بحادث مأساوي عندما اشتعل الفرن العامل على الوقود في بيتها قبل حتى نشر أطروحتها. وفاز سبيمان بجائزة نوبل في الطب في عام 1935، وكانت الجائزة مقدمة عن «اكتشافه للمنظم وتأثيره في التطور الجنيني».

اليوم، يعدّ العديد من العلماء عمل مانغولد العمل الوحيد الأكثر أهمية في تاريخ علم الأجنة.

وفي الوقت نفسه تقريباً، الذي كانت مانغولد تجري فيه تجاربها في مختبر سبيمان، كان و. فوغت (W. Vogt) –من ألمانيا–، يصمم تقنيات ذكية أيضاً؛ لوضع علامات على الخلايا أو بقع منها، وبذلك يسمح للمجرب أن يشاهد ما يحدث خلال تطور البويضة. لقد كان فوغت قادراً على إنتاج خريطة للجنين تبين مكان نشوء كل عضو في البويضة. إننا نرى آلاف الخطط للجسم في وجهات خلايا الجنين الأولى.

ومنذ أيام علماء الأجنة الأوائل، أمثال فون بيير، وباندر، ومانغولد، وسبيمان، تعلمنا أن جميع أجزاء جسمنا كبالغين يمكن أن تكون خطط لها بقع منفردة من الخلايا في القرص ثلاثي الطبقات، ويبدأ التركيب العام لجسمنا، بسبب منطقة المنظم، التي اكتشفتها مانغولد وسبيمان.

إذا قمت بالجراحة، والتشريح، والتقطيع، سوف تجد أن الثدييات، والطيور، والبرمائيات، والأسماك جميعها لديها منظمات. يمكنك حتى أحياناً أن تبدل منظم جنس مكان آخر. خذ منطقة المنظم من دجاجة، وقم بزرعها في جنين سلمندر فسوف تحصل على توأم سلمندر.

ولكن ما هو المنظم حقاً؟ وما الشيء الموجود بداخله، الذي يخبر الخلايا كيف تبني الأجسام؟ الحمض النووي طبعاً. وداخل هذا الحمض النووي سوف نجد الوصفة الداخلية، التي نشترك بها مع بقية الحيوانات الحية.

عن الذباب والبشر

لقد راقب فون بيير الأجنة تتطور، وقام بمقارنة جنس مع آخر، ولاحظ أنماطاً أساسية في الأجسام. بينما قامت مانغولد وسبيمان بالتلاعب حسياً بالأجنة؛ لتعلم كيفية بناء أنسجتها للجسم. في عصر الحمض النووي، يمكننا أن نطرح أسئلة حول محتوانا الجيني. كيف تقوم جيناتنا بالتحكم بتطور أنسجتنا وأجسامنا؟ إذا اعتقدت ولو مرة أن الذباب غير مهم، فكر بالطفرات، التي تحصل في الذباب، التي تقدم لنا أدلة هامة حول الجينات الرئيسية التي تخطط لبناء الجسم ،التي تنشط في أجنة البشر. لقد اتخذنا مثل هذا التفكير موضع استخدام في اكتشاف الجينات، التي تبني أصابع اليدين والقدمين. والآن، سوف نرى كيف تخبرنا حول طرق بناء أجسامنا كاملة.

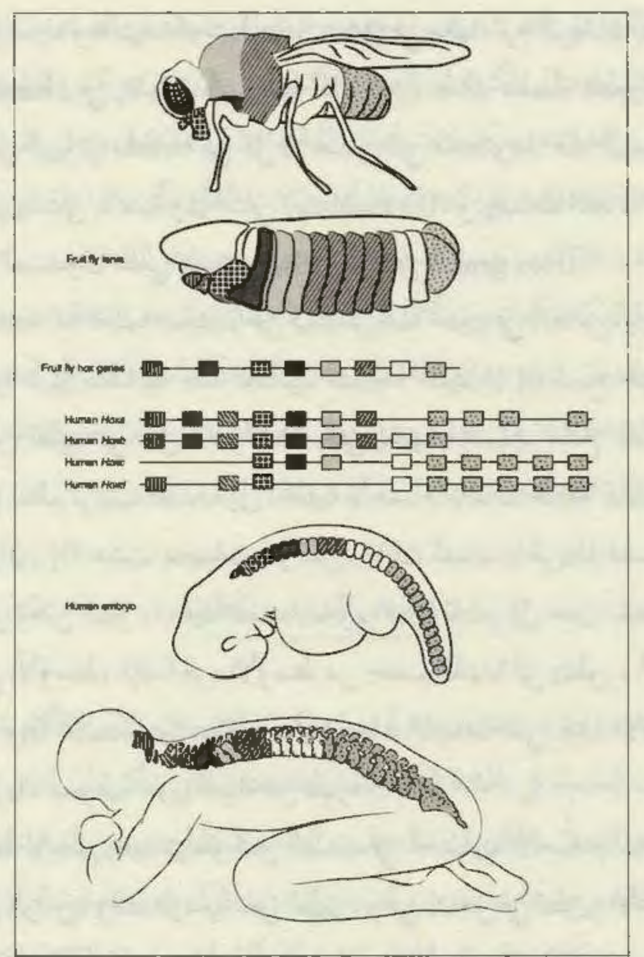
إن للذباب خريطة جسدية. فلديها مقدمة ومؤخرة، وقمة وقاع، وما إلى ذلك. إن هوائياتها، وأجنحتها وغيرها من الزوائد تظهر من الجسم في المكان الصحيح. إلا في الحالات التي لا تفعل. فبعض الذباب، الذي لديه طفرة، يملك أطرافاً تنمو من رؤوسها. وبعضها الآخر لديه أجنحة مضاعفة، وقطع جسدية إضافية. إن هذه هي من بين تلك الطفرات في الذباب، التي تخبرنا سبب تغير شكل فقراتنا من النهاية الرأسية حتى النهاية الشرجية في الجسم.

لقد دأب الناس على دراسة الذباب الشاذ لما يزيد على مئة عام. وقد نالت الشاذّة منه، التي لديها نوع معين من الخلل على اهتمام خاص.

هذه الذبابات لديها أعضاء في أماكن خطأ - كرجل حيث يجب أن يكون هوائي، أو مجموعة إضافية من الأجنحة، أو كان يعوزها أجزاء من الجسم. إن هناك شيئا خطأ في خريطة جسمها. في النهاية، نشأت هذه الشواذ؛ من خطأ ما في الحمض النووي. تذكر أن الجينات عبارة عن خيوط من الحمض النووي الموجود داخل الكروموسومات، يمكننا تحديد منطقة الكروموسوم المسؤولة عن التأثير الشاذ. وفي الواقع، نحن نقوم بتربية الشواذ؛ لنحصل على جيل كامل يكون جميع أفراده لديهم الخطأ الوراثي. ثم باستخدام مجموعة متنوعة من العلامات الجزيئية، نقارن الجينات لدى الأفراد المصابين بطفرات مع أولئك غير المصابين.

يسمح لنا هذا بتحديد المنطقة، وربما الجزء من الكروموسوم المسؤول عن الطفرة. يتضح أن للذبابة ثمانية جينات مسؤولة عن تكوين هذه الطفرات. هذه الجينات موجودة جانب بعضها على واحد من الخيوط الطويلة من الحمض النووي في الذبابة. الجينات، التي تؤثر في أجزاء الرأس موجودة جانب تلك المسؤولة عن أجزاء الوسط للذبابة، وهو الجزء من جسم الذبابة، الذي يحمل الأجنحة.

هذه الأجزاء من الحمض النووي، تقبع قريبة من تلك، التي تتحكم بالجزء الخلفي من الذبابة. هناك ترتيب مذهل لطريقة تنظيم الجينات: فموقعها على طول خيط الحمض النووي يوازي تركيب الجسم من الأمام للخلف. إن التحدي الآن هو تحديد تركيب الحمض النووي المسؤول حقاً عن الطفرة. لاحظ كل من مايك ليفين (Mike Liveine) وبيل ماكجينيز (Bill McGinnis) في مختبر والتر جيهرنج (Walter Gehring's)



جينات هوكس في الذباب والإنسان. تسيطر جينات هوكس المختلفة على تنظيم الجسم من الرأس إلى الذيل. للذباب مجموعة واحدة من ثمانية جينات هوكس، كل واحد ممثل بمربع صغير في الشكل. أما الإنسان فلديه أربع مجموعات من هذه الجينات. في كل من الذباب والإنسان، يطابق نشاط كل جين موقعه على الحمض النووي: تكون الجينات النشطة في الرأس على جهة، والنشطة عند الذيل على الجهة الأخرى، بينما تمتد الجينات، التي تتحكم بوسط الجسم بينهما.

في سويسرا، ومات سكوت (Matt Scott) في معهد توم كوفمان (Tom Kauffman) في إنديانا، أن وسط كل جين، هناك سلسلة قصيرة من الحمض النووي متطابقة في كل الأجناس التي فحصوها. هذا التسلسل الصغير يسمى بالصندوق المثلي (Homeobox). والجينات الثمانية التي تحمل الصندوق المثلي تسمى جينات هوكس (Hox genes).

عندما بدأ العلماء بحثهم عن تسلسل هذا الجين في أجناس أخرى، وجدوا شيئاً متشابها جداً فكانت مفاجأة حقيقية: إن نسخ جينات هوكس تظهر في كل الحيوانات، التي لديها أجسام. نسخ الجينات نفسها تنظم ترتيب المقدمة إلى الخلفية لأجسام كائنات مختلفة كالذباب والفئران. إذا عبثت بجينات هوكس، فإنك تعبث بالخريطة الجسدية بشكل يمكن التنبؤ به. فإذا قمت بتحوير ذبابة تفتقر إلى جين نشط في القسم الأوسط، فإن الجزء الأوسط من جسم الذبابة لن يتطور، أو قد يتغير. وإذا عبثت بجينات فأر بحيث يفقد الجينات التي تحدد الأقسام الصدرية، فسوف تحور أجزاءً من ظهره.

كما تؤسس جينات هوكس النسب في أجسامنا الأحجام المختلفة لمناطق الرأس، والصدر، وأسفل الظهر. وهي تدخل في تطوير الأعضاء المفردة، والأطراف، والأجزاء التناسلية، والأمعاء. إن التغييرات فيها ستجلب بعض التغييرات بطريقة تركيب أجسامنا.

إن الأنواع المختلفة من المخلوقات لديها أعداد مختلفة من جينات هوكس. فالذباب والحشرات الأخرى لديها ثمانية، أما الفئران والثدييات الأخرى فلديها تسعة وثلاثون. إن جينات هوكس التسعة

والثلاثين في الفئران، هي نسخ من تلك الموجودة في الذباب. وقد قاد هذا التشابه إلى فكرة أن العدد الأكبر من جينات هوكس الثديية، قد نشأ من تضاعف مكملات أصغر للجينات في الذبابة. وعلى الرغم من هذه الاختلافات في العدد، إلا أن جينات الفأر تكون نشطة من الأمام للخلف بالترتيب نفسه الدقيق الموجود في جينات الذبابة.

هل يمكننا أن نتعمق أكثر في شجرة عائلتنا، لنجد امتدادات مشابهة من الحمض النووي العاملة على إنتاج أجزاء أساسية أكثر في أجسامنا؟ الإجابة المذهلة هي نعم. وهي تبين الصلة بيننا، وبين حيوانات أبسط حتى من الذباب.

الحمض النووي والمنظم

عندما فاز سبيمان بجائزة نوبل، كان المنظم هو الأمر الأكثر شهرة. بحث العلماء في المادة الكيميائية الغامضة، التي يمكن أن تحفز مخطط الجسد كاملاً. ولكن مثلما حظيت ألعاب البلابل، ودمى الدغدغة إلمو، فإن للعلم صرعات تفور وتضمحل. وبحلول السبعينيات من القرن العشرين، كان ينظر إلى المنظم على أنه أكثر من سبب لإثارة الفضول فحسب، وإنما كحكاية ذكية في تاريخ علم الأجنة. إن السبب وراء هذا الاندثار من عالم الشهرة، هو أنه لا يوجد من يستطيع حل شيفرة آلية عمله.

إن اكتشاف جينات هوكسْ في الثمانينيات من القرن العشرين قد

غيرت كل شيء. ففي بدايات التسعينيات من ذلك القرن، عندما كان مفهوم المنظم لا يزال غير ذي أهمية لدى الكثيرين، كان مختبر إدي دي روبيرتيس (Eddie De Robertis) في جامعة كاليفورنيا، لوس أنجلوس (UCLA) يبحث عن جينات هوكس في الضفادع، باستخدام تقنيات مثل تقنية ليفين، وماك جينيس. لقد كان البحث واسع النطاق، وقد أسفر عن اكتشاف أنواع مختلفة من الجينات. أحد هذه الجينات كان ذا نمط خاص من النشاط. لقد كان نشطاً في الموقع نفسه في الأجنة، التي احتوت على المنظم، وقد كان نشطاً في المرحلة التطورية نفسها تماماً. يمكنني أن أتخيل فقط شعور دي روبيرتيس عندما وجد ذلك الجين. لقد كان يبحث في المنظم، وهناك في المنظم، كان يوجد جين بدأ كأنه يتحكم به بشكل خاص، أو أنه متصل بنشاطه في الأجنة. وهكذا عاد المنظم إلى الظهور ثانية.

لقد بدأت جينات المنظم بالظهور في المختبرات في كل مكان. وبينما كان ريتشارد هارلاند (Ritchard Harland) يقوم بنوع آخر من التجارب، وجد جيناً آخر أسماه نوجين (Noggin). يقوم نوجين بعمل ما يجب أن يفعله الجين المنظم تماماً. عندما أخذ هارلاند بعضاً من هذا الجين، وحقنه في المكان المناسب في جنين ما، قام تماماً بما يقوم به المنظم. طور الجنين محوري جسد، تضمنا رأسين.

هل جين دي روبيرتيس ونوجين هما الأجزاء الحقيقية من الحمض النووي، الذي يتكون منهما المنظم؟ الإجابة نعم ولا. إن العديد من الجينات، بما فيها هذين الاثنين، تتفاعل؛ لتنظم مخطط الجسد. إن مثل

هذه الأنظمة معقدة؛ لأن الجينات يمكن أن تقوم بعدة أدوار مختلفة خلال التطور. فنوجين– مثلاً– يعلب دوراً في تطور محور الجسد، لكن له دور في مجموعة من الأعضاء الأخرى أيضاً. فضلاً عن ذلك، فإن الجينات لا تعمل وحدها، لتحدد سلوك الخلايا المعقد، كتلك التي نراها في تطور الرأس.

تتفاعل الجينات مع جينات أخرى خلال مراحل التطور جميعها. قد يثبط أحد الجينات نشاط جين آخر أو يحفزه. أحياناً تتفاعل عدة جينات معاً؛ لتقوم بتنشيط جين ما أو تثبيطه. لحسن الحظ، فإن الأدوات الحديثة تسمح لنا بدراسة نشاط آلاف الجينات في الخلية في آن معاً. وإذا جمعنا هذه التقنيات الحديثة مع الطرائق الحاسوبية الحديثة في تفسير وظائف الجينات، فسيكون لدينا قدرات هائلة لفهم كيفية بناء الجينات للخلايا، والأنسجة والأجسام.

إن فهم هذه التفاعلات المعقدة بين مجموعات الجينات يلقي الضوء على الآليات الفعلية، التي تبني الأجسام. يعمل نوجين كمثال رائع. فنوجين لوحده لا يعلم أية خلية في الجنين عن مكانها على المحور العلوي–السفلي؛ بل، يعمل بشكل جماعي مع عدة جينات أخرى للقيام بذلك. من الجينات الأخرى، بي أم بي–4 (BMP-4)، وهو جين قاع؛ ينشط في الخلايا، التي سوف تشكل القاع أو الجانب البطني من الجنين. هناك تفاعل هام بين هذا الجين وجين نوجين، فأنّى كان جين نوجين نشطاً، لا يتمكن جين بي أم بي–4 من القيام بوظيفته. والنتيجة هي أن نوجين لا يخبر الخلايا أن تتطور كخلايا في قمة الجسد،

ولكنه عوضا عن ذلك يقوم بتثبيط الإشارة، التي ترسلها خلايا قاع. إن تفاعلات التنشيط والتثبيط هذه، هي تقريباً ما يكمن وراء العمليات التطورية جميعها.

شقائق البحر الداخلية

يمكننا إذاً أن نقارن أجسادنا بأجساد الضفادع والأسماك. فمنقطياً نحن وهي متشابهون كثيراً: إن لدينا جميعاً عموداً فقرياً، ورجلين، وذراعين، ورأساً، وما إلى ذلك. ولكن ماذا لو قارنا أنفسنا بشيء مختلف تماماً، كقناديل البحر وأقاربها مثلاً؟

معظم الحيوانات لديها محور جسدي يحدده اتجاه حركتها، أو اتجاه وجود فمها وشرجها نسبة لبعضهما بعضاً. لنفكر بالأمر كما يلي: إن فمك على الجهة المعاكسة لشرجك، وفي الأسماك والحشرات، فإنها في الاتجاه الأمامي عادة.

كيف يمكن أن نرى أنفسنا في حيوانات ليس لها نخاع شوكي البتة؟ وماذا إن لم يكن لها شرج أو فم؟ كائنات كقناديل البحر والمرجان، وشقائق البحر لديها فم، لكن ليس لديها شرج. فالفتحة التي تعمل كفم أيضاً تعمل كفتحة لإخراج الفضلات. وبينما قد يكون ذلك الترتيب الغريب جيداً بالنسبة لقنديل البحر وأقاربه، إلا أنه يسبب الدوار لعلماء الأحياء عندما يحاولون مقارنة هذه المخلوقات بأي شيء.

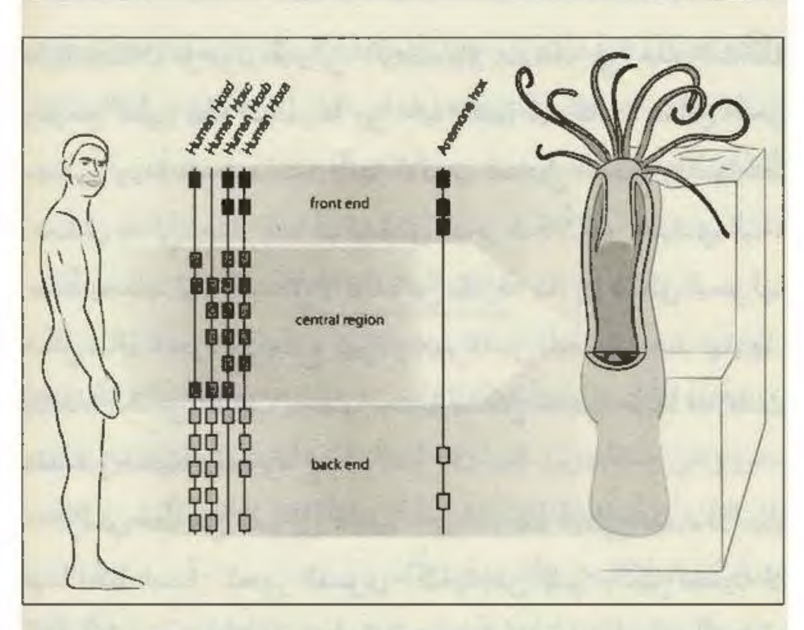
لقد غاص بعض من الزملاء، ومن بينهم مارك مارتينديل (Mark

Martindale) وجون فينيرتي (John Finnerty)، في هذه المشكلة ودرسوا تطور هذه المجموعة من الحيوانات. لقد كانت شقائق البحر مصدراً جيداً للمعلومات؛ لأنها الأقرب لقناديل البحر، ولديها نمط جسدي بدائي جداً. كما أن لشقائق البحر شكلاً غير اعتيادي البتة، جسدٌ يجعلها تبدو كشكل لا فائدة من مقارنته بنا. إن شقائق البحر لها شكل ساق شجرة مع جذع كبيرة ومجموعة من المجسات عند نهايتها. إن هذا الشكل الغريب يجعلها جذابة بشكل خاص، فإنها قد تمتلك مقدمة وخلفية، وقمة وقاع.

ارسم خطاً من الفم إلى قاعدة الحيوان. لقد أعطى علماء الأحياء لهذا الخط اسماً: المحور الفموي– البعيد عن الفم. ولكن تسميته لا تجعله أكثر من خط افتراضي. لو كان حقيقياً، فإن تطوره يجب أن يناظر تطور أحد أبعاد جسمنا نحن.

لقد اكتشف مارتينديل وزملاؤه أن النسخ البدائية من بعض جينات مخطط جسدنا الرئيسية، التي تحدد المحور الفموي الشرجي، موجودة في الواقع في شقائق البحر. والأهم من ذلك، أن هذه الجينات نشطة على طول المحور الفموي – البعيد عن الفم. وهذا بدوره يعني أن المحور الفموي–البعيد عن الفم لهذه المخلوقات البدائية، مكافئ جينياً لمحورنا الفموي–الشرجي.

انتهينا من أحد المحاور، وبقي لدينا آخر. هل لدى شقائق البحر مناظرات لمحورنا البطني–الظهري؟ لا يبدو أن لشقائق البحر أي شيء كهذا. وقد خطا مارتينديل وزملاؤه خطوة جريئة في بحثهم في شقائق



أقارب قنديل البحر كشقائق البحر، لها مقدمة، ومؤخرة أيضاً مثلما لنا، ومخطط جسدي معدّ بنسخ من الجينات ذاتها.

البحر عن الجينات التي تحدد محورنا البطني–الظهري. لقد عرفوا أن جيناتنا تبدو متشابهة، وهذا أعطاهم صورة عمّ يبحثون. لقد اكتشفوا عدّة جينات لمحاور بطنية–ظهرية في شقائق البحر. ولكن على الرغم من كون هذه الجينات نشطة على طول المحور في شقائق البحر، إلا أن ذلك المحور لم يكن ذا صلة بأي نمط لترتيب أعضاء الحيوان معاً.

إن ما يمكن أن يحدده هذا المحور المخفي، قد لا يكون ظاهراً خارج الحيوان. إذا قمنا بقطع حيوان بالنصف، سنجد دليلاً هاماً، محور تماثلي آخر. ويبدو أن هذا المحور المسمى المحور التوجيهي يحدد جانبين

مميزين من الكائن، وهما غالباً: اليسار واليمين. إن هذا المحور المخفي كان معروفاً لدى علماء التشريح في العشرينيات من القرن المنصرم، ولكنه بقي مثار فضول في الكتابات العلمية. لقد غير مارتينديل وفينيرتي وفريقهما ذلك.

إن جميع الحيوانات متشابهة، لكنها مختلفة. كوصفة كعكة تناقلتها الأجيال جيلاً بعد جيل – مع تحسينات على الكعكة في كل جيل – لقد تم توريث الوصفة، التي تبني أجسادنا، وتعديلها، لعصور. قد لا نبدو مثل شقائق وقناديل البحر، ولكن الوصفة، التي بنتنا هي نسخة أكثر تعقيداً من تلك التي بنتها.

يظهر دليل قوي على الوصفة الجينية المشتركة لأجسام الحيوانات عندما نقوم بتبديل جينات بين الأجناس. ماذا يحدث عندما تبدل جيناً لبناء الجسم، من حيوان لديه مخطط جسدي معقد كالموجود لدينا مع واحد من شقائق البحر؟ لنأخذ جين نوجين، الذي يتم تنشيطه في الضفادع، والفئران، والإنسان في أماكن ستتطور لتراكيب ظهرية. إذا حقنا كميات أكبر من جين نزجين في بويضة ضفدع، فإن الضفدع سوف ينمو له تراكيب ظهرية إضافية، حتى رأسٍ إضافية أحياناً. وفي أجنة شقائق البحر، يتمء تنشيط نسخة من جين نوجين أيضاً، عند أحد نهايتي المحور التوجيهي. والآن إلى التجربة المذهلة: خذ ناتج نوجين من شقائق البحر، واحقنه في جنين ضفدع. النتيجة: ضفدع لديه تراكيب ظهرية إضافية، النتيجة ذاتها تقريباً عندما حقنا الضفدع بجين نوجين مأخوذ من ضفدع.

ورغم ذلك، فإننا الآن برجوعنا في الزمن، يتبقى ما يبدو كأنه فجوة هائلة. كل شيء في هذا الفصل لديه جسد. كيف يمكننا أن نقارن أنفسنا بأشياء ليس لديها أجساد أبداً – ميكروبات وحيدة الخلية؟

الفصل السابع

مغامرات في بناء الأجسام

حين لا أكون في الحقل أجمع المستحاثات، فإن معظم وقتي كنت أقضيه في ممارسة مهنتي كطالب دراسات عليا، وأنا أحدق في مجهر، ناظراً إلى كيفية تجمع الخلايا معاً لتكوّن العظام.

لقد كنت آخذ الطرف، الذي سيتطور من سلمندر أو ضفدع، وأقوم بصبغ الخلايا بصبغات تحول الغضاريف قيد النمو إلى زرقاء، والعظام إلى حمراء. أمكنني عندها أن أجعل بقية الأنسجة شفافة بمعالجة الطرف بالغليسرين. لقد كانت هذه تحضيرات جميلة: كان الجنين شفافاً تماماً، والعظام تشعّ بألوان الصبغات. لقد كان الأمر أشبه بالنظر إلى مخلوقات مصنوعة من زجاج.

خلال هذه الساعات الطويلة عند المجهر، كنت أشاهد حيواناً يبنى بكل ما في أحرف الكلمة من معنى. كانت الأجنة الأولى لها براعم طرفية صغيرة، وكانت الخلايا داخلها بمسافات متساوية. ثم في المراحل التالية، كانت الخلايا تتجمع داخل البرعم الطرفي في الأجنة المتقدمة أكثر، وتأخذ أشكالاً مختلفة، وكانت العظام تتشكل. وقد أصبح كل واحد من هذه التجمعات، التي رأيتها خلال المراحل الأولى يتحول إلى عظمة.

من الصعب أن لا يشعر المرء بالرهبة عند رؤيته لحيوان يقوم ببناء نفسه. تماماً كبيت من الطوب، يتم بناء الطرف بقطع أصغر تتصل معاً؛ لتكوّن بناءً أكبر. ولكن هناك اختلاف كبير. فالمنازل لها بنّاء، شخص يعرف فعلياً أين يجب أن يضع الطوب، أما الأطراف والأجسام فلا. إن المعلومات التي تبني الأطراف ليست في نفس المخطط المعماري لها، بل هي موجودة في كل خلية. تخيل أن يتم تجميع منزل وحده تلقائياً من جميع المعلومات الموجودة في الطوب: هذه هي الكيفية التي تبنى بها أجسام الحيوانات.

إن كثيراً مما تصنعه أجسادنا موجود داخل الخلية، وفي الحقيقة، فإن ما يجعلنا مميزين موجود داخلها أيضاً. إن جسمنا يبدو مختلفاً عن جسد قنديل البحر؛ بسبب الطريقة، التي تتصل بها الخلايا إحداها مع الأخرى، وطريقة تواصلها معاً، والمواد المختلفة التي تقوم بإنتاجها.

قبل أن نتمكن حتى من الحصول على مخطط للجسد، ناهيك عن الرأس، والدماغ، والذراع، يجب أن تكون هناك طريقة لبناء جسد في المقام الأول. فماذا يعني ذلك لإنتاج أنسجة جسد، وأجزاء ما منه ؟ على الخلايا أن تتعلم كيف تتعاون؛ لتتجمع معاً، وتنتج نوعاً جديداً تماماً من الأفراد.

لفهم معنى ذلك، لنبدأ أولاً بماهية الجسد. ثم لنتناول الأسئلة الثلاثة الهامة حوله: متى، وكيف، ولماذا؟ متى نشأت الأجساد، وكيف نشأت، والأهم من ذلك كله، لم هناك أجساد أساساً؟

أمر تنفيذي: أرني الجسد

لا يمكن أن يمنح شرف تسمية الجسد على أي مجموعة من الخلايا. فمجموعة من البكتيريا، أو مجموعة من خلايا الجسد أمر يختلف جداً عن مصفوفة من الخلايا، التي يمكن أن نسميها فرداً. ومن الضروري تمييز ذلك، فيمكن لتجربة فكرية أن تساعدنا في إدراك الفرق.

ماذا يحدث لو أخذت بعض البكتيريا من مجموعة من البكتيريا؟ سينتهي بك الأمر بمجموعة أصغر من البكتيريا. وماذا يحدث لو أخذت بعض الخلايا من إنسان أو سمكة، لنقل القلب أو الدماغ؟ يمكن أن ينتهي بك الأمر بإنسان أو سمكة ميتين، وفقاً للخلايا التي ستأخذها.

لذلك تكشف هذه التجربة الفكرية إحدى السمات المحددة للأجسام: تعمل الأجزاء المكونة لنا معاً لإنتاج العظم كلّه. وعادة لا تتساوى جميع أجزاء الجسد؛ فبعض الأجزاء ضرورية بشكل مطلق للحياة. ثم إنّ هناك تقسيماً للجهد ضمن الأجساد، فالدماغ والقلب والمعدة وظائف متفاوتة. إن تقسيم العبء هذا يمتد إلى أدنى مستويات التركيب، بما في ذلك الخلايا، والجينات، والبروتينات، التي تبني الجسد.

إن جسد دودة أو شخص ما له هوية ليست موجودة في الأجزاء المكونة له، كالأعضاء، والأنسجة، والخلايا. إن خلايا جلدنا- على سبيل المثال- تنقسم بشكل متواصل، وتموت، وتنسلخ. رغم ذلك فإنك الشخص عينه، الذي كنته قبل سبع سنوات، على الرغم من أن جميع خلايا جلدك الآن مختلفة: إن الخلايا التي كانت لديك قبل سنوات

قد ماتت واختفت، وتم استبدالها بأخرى جديدة. والأمر سيّان لكل خلية في أجسامنا تقريباً. كنهر يبقى كما هو على الرغم من التغييرات في مساره، أو محتواه من الماء، أو حتى حجمه، نبقى الأفراد ذاتهم على الرغم من التجدد المتواصل لأجزائنا.

وإذا تراكم هذا التغيير المتواصل، فإن كل عضو من أعضائنا «يعرف» حجمه ومكانه في الجسم. فنحن ننمو بنسب صحيحة، لأن نمو العظام في ذراعينا متناسق مع نمو العظام في أصابعنا، وفي جماجمنا. وجلدنا ناعم؛ لأن الخلايا يمكنها أن تتواصل للحفاظ على سلامته وانتظام سطحه. حتى يحدث أمر غير طبيعي، كأن نصاب بثؤلول مثلاً. الخلايا داخل الثؤلول لا تتبع القوانين: فهي لا تعرف متى تتوقف عن النمو.

عندما يتداعى التوازن الدقيق بين الأجزاء المختلفة من الجسم، قد يموت الكائن. فمثلاً يولد الورم السرطاني عندما تكف مجموعة من الخلايا عن التعاون مع بقية الخلايا الأخرى. وبانقسامها بلا انتهاء، أو فشلها في أن تموت بشكل مناسب، يمكن لهذه الخلايا أن تهدم التوازن الطبيعي، الذي يبني الشخص الحي. إن السرطانات تكسر كل القواعد، التي تسمح للخلايا بالتعاون معاً. وكالمزعجين الذين يهدمون المجتمعات المتعاونة جداً، تقوم السرطانات بالسلوكات، التي تصب في مصلحتها حتى تقتل مجتمعها الأكبر، جسم الإنسان.

ما الذي جعل من كل هذا التعقيد أمراً ممكناً؟ أن تتحول أسلافنا السحيقة من مخلوقات وحيدة الخلية، إلى مخلوقات بأجسام، كما فعلت قبل أكثر من مليار سنة، كان على خلاياها أن تستفيد من آليات جديدة؛

لتعمل معاً. لقد احتاجت إلى التواصل إحداها مع الأخرى. واحتاجت إلى أن تلتصق معاً بطرق جديدة. واحتاجت إلى أن تكون قادرة على عمل أشياء جديدة كالجزيئات، التي تميز الأعضاء. إن هذه المزايا – الصمغ بين الخلايا، والطرق، التي يمكن للخلايا أن تتكلم فيما بينها، والجزيئات، التي تصنع – تمثل مجموعة الأدوات الضرورية لبناء الأجسام المختلفة، التي نراها على الأرض.

إن اختراع هذه الأدوات شكل تطوراً ونشوءاً. والانتقال من حيوانات أحادية الخلايا إلى حيوانات ذات أجسام يكشف عالماً جديداً تماماً. كائنات جديدة بقدرات جديدة تماماً: فقد أصبحت أكبر، وتنقلت، وطورت أعضاء جديدة ساعدتها على الإحساس بعالمها وأكله وهضمه.

حَفْر الأجساد

هذه فكرة متواضعة لنا جميعاً كديدان، وأسماك، وبشر: معظم تاريخ الحياة، هي قصة مخلوقات وحيدة الخلية. إن كل شيء تحدثنا عنه تقريباً حتى الآن – الحيوانات ذات الأيدي، والرؤوس وأعضاء الإحساس، وحتى المخطط الجسدي – تعيش منذ فترة وجيزة فحسب من تاريخ الأرض. إن من يدرّسون علم المستحاثات غالباً ما يستخدمون تمثيل السنة الأرضية؛ ليوضحوا كم صغيرة هي تلك الفترة. لنأخذ تاريخ الأرض، الذي يبلغ 4,5 مليار سنة وقم بتصغيره إلى سنة واحدة،

بحيث يكون منشأ الأرض في الأول من يناير ومنتصف ليلة الأخير من ديسمبر هو الحاضر. فحتى يونيو، كانت الكائنات الوحيدة على الأرض ميكروبات وحيدة الخلية، كالطحالب، والبكتيريا، والأميبا. وأول حيوان له رأس لم يظهر حتى أكتوبر. وأول ظهور للإنسان الأول كان في الحادي والثلاثين من ديسمبر. إننا، كالعديد من الحيوانات والنباتات، التي عاشت منذ القدم، قادمين جدد على حفلة الحياة في الأرض فحسب.

إن عظم هذا المقياس الزمني يتضح عندما ننظر إلى الصخور في العالم. إن الصخور، التي يزيد عمرها عن 600 مليون سنة، تكون بشكل عام خالية من الحيوانات أو النباتات. ولكننا نجد فيها كائنات وحيدة الخلية، أو مستعمرات من الطحالب. إن هذه المستعمرات تشكل وسائط، أو خطوطاً، بعض المستعمرات لها شكل مقبض الباب. ولا مجال لأن يخلط المرء بين هذه وبين الأجسام.

إن أول من رأى الأجسام الأولى في السجل الأحفوري لم تكن لديه أدنى فكرة إلام كان ينظر. فبين 1920 و1960 بدأت مستحاثات غريبة حقاً تظهر من جميع أنحاء العالم. في العشرينيات، والثلاثينيات من القرن العشرين، اكتشف مارتين غوريتش (Martin Gurich)، وهو عالم مستحاثات ألماني يعمل في ما يسمى اليوم بناميبيا (Namibia)، مجموعة متنوعة من الطبعات لما بدا كأنه أجساد حيوانات. لها أشكال أقراص وصفائح، وقد بدت هذه الأشياء غير ذات أهمية: ربما كانت طحالب بدائية، أو قناديل بحر عاشت في البحار المندثرة.

وقع عالم جيولوجيا التعدين الأسترالي ريجنالد سبريغ (Reginald Sprigg) في عام 1947، على موقع احتوت فيه الجوانب السفلية من الصخور على طبعات لأقراص، وأشرطة، وسعفات. وخلال عمله في منجم مهجور في تلال إيداكارا (Ediacara Hills) جنوب أستراليا، اكتشف سبريغ مجموعة من هذه المستحاثات، ووصفها بحكم واجبه. ومع الزمن، بدأت طبعات شبيهة تعرف من كل قارات العالم عدا القارة القطبية الجنوبية. بدت مخلوقات سبريغ غريبة، ولكن القليل من الناس فقط اهتموا بها.

إن سبب التثاؤب الجماعي لعلم المستحاثات، كان الاعتقاد أن تلك المستحاثات جاءت من صخور حديثة نسبياً من العصر الكامبري (Cambrian era)، حيث كانت العديد من الأجسام البدائية، والحيوانية معروفة مسبقاً. وبقيت مستحاثات سبريغ وغرويش بلا انتباه نسبياً، مجموعة لطبعات غير مثيرة، وإن كانت غريبة، من حقبة ممثلة جيداً من قبل مجموعات المتاحف في العالم.

وفي منتصف الستينيات من القرن العشرين، غيّر مارتن غليسنر (Martin Glaessner) —وهو وافد يعيش في أستراليا— ذلك كله. فبعد مقارنته لتلك الصخور بالصخور الموجودة في أماكن أخرى من العالم، أظهر غليسنر أن هذه المستحاثات أقدم بما يتراوح بين 15 و20 مليون سنة مما كانوا يعتقدون بلا شك. لم تكن مجموعة مملة من الطبعات، بل كان غوريش، وسبريغ، وغيرهما يرون الأجسام الأولى.

تسلسل زمني لأحداث في تاريخ الحياة. لاحظ الفترة الطويلة جداً من الزمن، التي لم يكن فيها أجسام على وجه الأرض، كائنات وحيدة الخلية فقط، تعيش وحيدة، أو في مستعمرات.

لقد جاءت هذه المستحاثات من حقبة تعرف باسم الحقبة ما قبل الكامبرية (Precambrian)، التي تعني حرفياً «قبل الحياة». إن فهمنا لقدم الحياة قد انفجر الآن. وقد أصبح فضول علماء المستحاثات جواهر علمية.

واضح أن الأقراص، والأشرطة، والسعفات قبل الكامبرية هي أقدم مخلوقات لها أجسام. وكما قد نتوقع من مستحثات الحيوانات الأخرى الأولى، تضمنت أشكالاً من الحيوانات الأكثر بدائية على الكوكب اليوم: الإسفنج وقناديل البحر. وكانت مستحاثات الحقبة قبل الكامبرية لا تبدو كأي شيء معروف. يمكننا القول إنها بصمات impressions لشيء له جسد، ولكن أنماط التنقيط، والتخطيط، والأشكال لا تطابق أية كائنات حية.

هناك رسالة واضحة من هذا: بدأت الكائنات عديدة الخلايا بالعيش في بحار الكوكب قبل زهاء 600 مليون سنة. هذه المخلوقات كان لها أجسام محددة جيداً، ولم تكن مجرد مستعمرات من الخلايا. إن لها أنماطاً تشبه في بعض الحالات تلك الموجودة في الكائنات الحية في يومنا هذا. أما بالنسبة لتلك الأنماط، التي لا يمكن مقارنتها مباشرة بالأنواع الحية، فإن الأجزاء المختلفة من جسمها تتضمن تراكيب متخصصة. وهذا يعني أن الكائنات قبل الكامبرية كان لها مستوى من التنظيم الحيوي، الذي كان في ذلك الوقت جديداً تماماً على الكوكب.

إن الدليل على هذه التغيرات لم يكن ظاهراً فقط في الأجسام المستحاثة فحسب، وإنما في الصخور نفسها أيضاً. فمع الأجسام الأولى، ظهرت أول مسارات. كانت الصخور تحتوي فعلياً على أول إشارات إلى أن المخلوقات كانت تزحف وتتلوى عبر الطمي. إن المسارات الأولى، كانت الخدوش، التي تشبه الأشرطة في الطين القديم، والتي تظهر أن بعض تلك المخلوقات كانت قادرة على القيام بحركات معقدة نسبياً. ولم يكن لها أجسام، وأجزاء يمكن تحديدها فحسب، وإنما كانت تستخدمها، للتحرك بطرق جديدة أيضاً.

إن هذا كله منطقي. نرى الأجسام الأولى قبل أن نرى المخططات الجسدية الأولى. ونرى المخططات الجسدية الأولى البدائية قبل أن نرى المخططات الجسدية الأولى ذات الرؤوس، وهكذا. فإن صخور العالم مرتبة بشكل كبير كحديقة الحيوان التخيلية، التي تنزهنا بها في الفصل الأول.

وكما قلنا في بداية هذا الفصل، فنحن نبحث عن متى، وكيف، ولماذا المتعلقة بالأجسام. تخبرنا الاكتشافات قبل الكامبرية بمتى. ولمعرفة كيف، وفي نهاية المطاف لماذا، علينا أن نتخذ مساراً مختلفاً قليلاً.

جسدنا المعرفي

لا يمكن لصورة أن تلتقط القدر، الذي يمكن أن نجده من جسدنا في هذه الأقراص، والسعفات، والأشرطة قبل الكامبرية. ما الذي يمكن أن نتشارك به نحن البشر، مع كل تعقيدنا، مع نسخ في صخور، وخصوصاً تلك، التي تبدو كقناديل بحر مجعدة، ولفّات مسحوقة من فيلم؟

إن الإجابة واضحة وعندما نرى الدليل ستصبح لا مفر منها: الأمور التي تجمعنا معاً - التي تجعل أجسامنا ممكنة - ليست مختلفة عن شكل أجسام طبعات غوريش وسبريغ القديمة. في الواقع، إن طيات جسمنا كاملاً قد نشأت في مكان قديم يثير الدهشة: الحيوانات أحادية الخلايا.

ما الذي يبقي مجموعة من الخلايا معاً، سواء أكانت من قنديل بحر أم مقلة عين؟ ففي مخلوقات مثلنا، ذلك اللاصق الحيوي معقد بشكل هائل: إنه لا يلصق خلايانا معاً فحسب، وإنما يسمح لخلايانا أيضاً أن تتواصل، وتشكل العديد من تراكيبنا.

إن الصمغ هذا ليس شيئاً واحداً: إنه مجموعة متنوعة من الجزيئات، التي تصل الخلايا وتكمن بينها. على المستوى المجهري، يعطي لكل نسيج وعضو مظهره ووظيفته المميز له. تبدو مقلة العين مختلفة عن

عظمة الرجل سواء نظرنا إليها بالعين المجردة أم تحت المجهر. في الواقع، إن العديد من الاختلافات بين عظمة الرجل، والعين تكمن في الطرق، التي تترتب بها الخلايا والمواد داخلهما.

لقد كنت أقود طلاب الطب إلى الجنون بهذه المفاهيم كل خريف خلال الأعوام العديدة الماضية. فعلى طلاب السنة الأولى العصبيين أن يتعلموا كيفية التعرف على الأعضاء بالنظر إلى أنسجة عشوائية من الأنسجة تحت المجهر. فكيف يقومون بذلك؟

إن هذه المهمة أشبه بمعرفة البلد، الذي أنت فيه بالنظر إلى خريطة طرق لقرية صغيرة. إن هذه المهمة ممكنة، ولكننا بحاجة إلى القرائن الصحيحة. فبعض أفضل القرائن في الأعضاء، تكمن في أشكال الخلايا، وكيفية التصاق بعضها بالآخر؛ كما أنه من المهم أيضاً أن تتوفر القدرة على تحديد ما يوجد بينها.

تحتوي الأنسجة على أنواع الخلايا المختلفة جميعها، التي تتصل معاً بطرق عدة: بعض المناطق ذات أشرطة، أو أعمدة من الخلايا، وفي أخرى تكون الخلايا عشوائية الترتيب وتتصل معاً بشكل غير متماسك. هذه المناطق، حيث تكون الخلايا غير مصطفة بشكل محكم، عادة ما تكون ملأى بمواد تعطي لكل نسيج خصائصه الفيزيائية المميزة. فمثلاً المعادن، التي توجد بين خلايا العظم تحدد صلابة العظم، بينما البروتينات الأقل ترابطاً في بياض أعيننا تجعل من كرة العين أكثر مرونة.

إن قدرة طلابنا على تحديد الأعضاء من الشرائح المجهرية، إذاً يأتي من معرفة كيفية ترتيب الخلايا وما يوجد بينها. بالنسبة لنا، هناك معنى

أعمق من ذلك. الجزيئات، التي تجعل هذه الترتيبات الخليوية ممكنة، هي الجزيئات التي تجعل تشكيل أجسادنا ممكناً. إن لم يكن هناك طريقة لوصل الخلايا معاً، أو إن لم يكن هناك مواد بين الخلايا، فلن يكون هناك أجسام على الأرض، بقع من الخلايا فحسب.

هذا يعني أن نقطة البداية لفهم كيف، ولماذا نشأت الأجسام هي رؤية هذه الجزيئات: الجزيئات التي تساعد الخلايا على الالتصاق معاً، والجزيئات، التي تسمح لها بالتواصل فيما بينها، والمواد التي توجد بين الخلايا.

ولفهم صلة هذا التركيب الجزيئي بأجسامنا، سنركز بشكل مفصل على جزء واحد: هيكلنا. إن هيكلنا العظمي مثال قوي للأثر الهائل، الذي يمكن لجزيئات صغيرة أن تمتلكه على تراكيب جسمنا، الذي يمثل المبادئ العامة، التي تنطبق على جميع أجزاء الجسد. فدون هياكل عظمية، سنكون كتلاً لا شكل لها من المواد اللزجة. ولن يكون العيش على الأرض سهلاً، أو حتى ممكناً. لذلك فإن معظم سلوكنا وبيولوجيتنا الأساسية قد أصبحت ممكنة بفضل هيكلنا العظمي الأمر، الذي نسلم به غالباً.

من التشبيهات الرائعة لما يفعله هيكلنا العظمي هو الجسر. إن قوة الجسر تعتمد على أحجام عوارضه، وأشكاله، وتناسبه وصلاته. ولكن قوته أيضاً تعتمد على الخصائص المجهرية للمواد التي يتكون منها. إن التركيب الجزيئي للفولاذ يحدد قوته ومقدار ما يمكنه أن ينثني قبل أن ينكسر. وبالمثل، فإن قوة هيكلنا العظمي مبنية على أحجام عظامنا

وأشكالها، كما تعتمد أيضاً على الخواص الجزيئية لعظامنا ذاتها.

لنجري قليلاً ونرى كيف. بينما نهرول في ممر طويل، تقوم عضلاتنا بالانقباض، ويتحرك ظهرنا وأذرعنا وأرجلنا، وتدفع أقدامنا الأرض؛ لتحركنا للأمام. إن عظامنا ومفاصلنا تعمل كمجموعة معقدة من الروافع والبكرات، التي تجعل كل تلك الحركة ممكنة. إن حركات أجسامنا تتبع الفيزياء الأساسية: فقدرتنا على الركض مبنية بشكل كبير على حجم هيكلنا العظمي، وشكله، وتناسبه، وترتيب مفاصلنا. عند هذا الحد، نحن نبدو كآلة كبيرة. وكما هي الحال في الآلة، فإن تصميمنا يطابق وظائفنا. إن بطل قفز عالٍ عالميّ، لديه تناسب عظام مختلف عن بطل مصارعة السومو. إن تناسب أرجل الأرنب، أو الضفدع، مخصص للوثب والقفز، وهما مختلفان عما هي الحال لدى الخيل.

لنلقِ الآن نظرة مجهرية أكثر. إذا وضعت شريحة من عظم الفخذ تحت المجهر، سوف ترى مباشرة ما يعطي العظم خصائصه الميكانيكية المميزة. إن الخلايا منظمة بشكل كبير في أماكن، على الإطار الخارجي من العظام خصوصاً. بعض الخلايا تلتصق معاً، بينما بعضها مفصول. وبين الخلايا المفصولة تكمن المواد، التي تحدد قوة العظم. ومن بين هذه المواد الصخور، أو البلوريات المعروفة باسم الهيدروكسي أباتايت، الذي ناقشناه في الفصل الرابع. إن مادة الهيدروكسي أباتايت صلبة صلابة الخرسانة: قوية عند ضغطها، وأقل قوة عند ثنيها أو ليها. لذلك، فكما يتم صناعة مبنى من الطوب أو الخراسنة، تتشكل العظام حيث تصل أقصى وظائفها الانضغاطية وتقلل اللي والانثناء، وهو أمر أدركه

جاليليو (Galileo) في القرن السابع عشر.

الجزيء الآخر الموجود بين خلايانا العظمية، هو أكثر البروتينات شيوعاً في جسم الإنسان كاملاً. إذا كبّرناه 10000 مرة باستخدام مجهر إلكتروني، سنرى شيئاً يبدو كحبل مكون من حزم من الألياف الجزيئية الصغيرة. هذا الجزيء- الكولاجين- له خواص الحبل الميكانيكية. فالحبل قوي نسبياً عند سحبه، ولكنه ينهار عندما ينضغط، فكر بفريقين من لعبة شد الحبل يدفعان إلى الوسط. والكولاجين كالحبل، قوي عند سحبه ولكنه ضعيف عند دفع نهايتيه معاً.

يتكون العظم من خلايا تسبح في بحر من الهيدروكسي أباتايت، والكولاجين وبعض الجزيئات الأخرى، الأقل شيوعاً. بعض الخلايا تلتصق معاً؛ وبعضها الآخر يطفو داخل هذه المواد. إن قوة العظم مبنية على قوة الكولاجين عند سحبه، وعلى قوة الهيدروكسي أباتايت عند ضغطه.

فالغضاريف- النسيج الآخر في هيكلنا العظمي- يتصرف بشكل مختلف بعض الشيء. فخلال هرولتك، يوفر الغضروف الأسطح الناعمة للعظام، التي تنزلق إحداها على الأخرى. إن الغضروف نسيج أكثر مرونة من العظام، يمكن ثنيه وينهرس عند تطبيق قوىً عليه. إن التشغيل السلس لمفصل الركبة- إضافة لباقي المفاصل الأخرى- التي نستخدمها أثناء هرولتنا، تعتمد على وجود غضاريف طرية نسبياً. عندما ينضغط الغضروف السليم، فإنه يرجع دائماً إلى وضعه السابق، كليفة المطبخ. خلال كل خطوة من هرولتنا، تنسحق كتلتنا كلها على الأرض بسرعة معينة. ودون هذه القبعات الغضروفية الواقية على مفاصلنا، فإن عظامنا

كانت لتنطحن على بعضها: وهذه إحدى نتائج التهاب المفاصل السيئة،التي تسبب الوهن.

إن لمرونة الغضاريف خاصية من خصائص تركيبها المجهري. يحتوي الغضروف الموجود في مفاصلنا على عدد قليل من الخلايا، وهي مفصولة فيما بينها بكثير من المواد المالئة. وكما هي الحال في العظام فإن خصائص هذا المالئ بين الخليوي هي التي تحدد خواص الغضروف الميكانيكية.

إن الكولاجين يملأ معظم الفراغ بين خلايا الغضروف (بالإضافة لخلايا أنسجتنا الأخرى) مما يعطي الغضاريف مرونتها حقاً، وهو نوع آخر من الجزيئات، أحد أكثر الجزيئات غير العادية في الجسم كاملاً. إن هذا النوع من الجزيئات، المسمى بمعقد البروتوجلايكان (Proteoglycan complex)، يعطي للغضروف القوة عندما ينضغط أو يعتصر. إن معقد البروتوجلايكان، الذي له شكل فرشاة عملاقة ثلاثية الأبعاد مع ساق طويلة وكثير من التفرعات، ويمكن رؤيته تحت المجهر له خاصية مذهلة ذات صلة بقدرتنا على المشي والتنقل، بفضل حقيقة أن التفرعات بالغة الصغر تحب أن ترتبط بالماء. إن البروتوجلايكان إذاً هو جزيء ينتفخ بالماء، ويمتلئ حتى يبدو كقطعة عملاقة من الهلام. خذ هذه القطعة من الهلام، وشدها ولفها بحبال الكولاجين، فستحصل على مادة مرنة ومقاومة بعض الشيء للالتواء. إن هذا هو الغضروف. وسادة رائعة لمفاصلنا. ودور الخلايا الغضروفية، هو إفراز تلك الجزيئات مع نمو الحيوان، والحفاظ عليها عندما لا ينمو الحيوان.

إن النسب بين المواد المختلفة، هي ما يحدد الاختلافات الميكانيكية بين العظام، والعضاريف، والأسنان. الأسنان صلبة جداً، وهي تحتوي، كما نتوقع، على كثير من الهيدروكسي أباتايت، والقليل من الكولاجين بين الخلايا في المينا. يحتوي العظم على كولاجين أكثر، وهيدروكسي أباتايت أقل، ولا يوجد فيه مينا. وعليه، فهو ليس بصلابة الأسنان. الغضروف يحتوي على كثير من الكولاجين، ولا يحتوي على هيدروكسي أباتايت، وهو محمل بالبروتوجلايكانات. إنه أكثر الأنسجة في هيكلنا العظمي طراوة. وأحد أهم الأسباب، التي تجعل هيكلنا العظمي يبدو، ويعمل كما هو عليه، هو أن هذه الجزيئات تطلق في الأماكن الصحيحة، وبالنسب الصحيحة.

ما علاقة هذا كله بنشوء الأجسام؟ إحدى الخصائص الشائعة بين الحيوانات، سواء أكانت بهيكل عظمي أم لا: أنها جميعاً بما فيها مجموعات الخلايا، لديها جزيئات بين خلاياها، وبالتحديد أنواع مختلفة من الكولاجينات والبروتوجلايكانات. يبدو الكولاجين مهماً بشكل خاص، فهو أكثر أنواع البروتينات انتشاراً في الحيوانات، إنه يشكل أكثر من 90٪ من وزن البروتينات في الجسم. فبناء الأجسام في الماضي السحيق عنى أن من الضروري اختراع جزيئات كهذه.

هناك أمر آخر ضروري للأجسام: الخلايا في عظامنا يجب أن تكون قادرة على الالتصاق معاً، والتواصل بشكل أكبر. كيف تعرف الأجزاء المختلفة من العظم أن تسلك سلوكاً مختلفاً؟ هنا تكمن مجموعة كبيرة من أدوات بناء أجسامنا.

خلايا العظم- ككل الخلايا الأخرى في أجسادنا- تلتصق معاً بوساطة مسامير جزيئية صغيرة، لها أنواع كثيرة. بعضها تربط الخلايا بالطريقة ذاتها، التي يربط بها الغراء أجزاء الأحذية معاً: يتصل جزيء واحد بالغشاء الخارجي لخلية، وآخر بالغشاء الخارجي للخلية المجاورة، وبذلك، يشكل الصمغ رابطة قوية بين الخلايا؛ بسبب اتصاله بغشائي كلا الخليتين.

المسامير الجزيئية الأخرى دقيقة جداً بحيث ترتبط بشكل انتقائي، بالنوع نفسه من المسامير فقط. وهذه ميزة هامة جداً؛ لأنها تساعد في تنظيم أجسامنا بشكل أساسي. تمكن طرق التثبيت هذه الخلايا من تنظيم نفسها، وتضمن أن تلتصق الخلايا العظمية بخلايا عظمية، وخلايا الجلد بخلايا الجلد، وهكذا. يمكنها أن تنظم أجسامنا بغياب المعلومات الأخرى. إذا وضعنا عدداً من الخلايا، كل واحدة من نوع مختلف من هذه الجزيئات، على طبق، وتركنا الخلايا تنمو، فإن الخلايا ستنظم نفسها. بعضها قد تشكل كرات، وأخرى صفائح، وتعرف الخلايا من أعداد المسامير وأنواعها.

ولكن المثير للجدل أن الرابط الأكثر أهمية بين الخلايا، يكمن في الطرق، التي تتبادل فيها المعلومات. إن النمط الدقيق لهيكلنا العظمي، حقيقة لجسدنا كله، ممكن فقط، لأن الخلايا تعرف كيف تتصرف. تحتاج الخلايا معرفة متى تنقسم، ومتى تنتج الجزيئات، ومتى تموت. إذا تصرفت خلايا العظم، أو الجلد- مثلاً- بشكل عشوائي - إذا انقسمت كثيراً، أو ماتت قليلاً - فسوف نصبح بشعين جداً، أو الأسوأ

من ذلك، ميتين. تتواصل الخلايا مع بعضها باستخدام كلمات مكتوبة على شكل جزيئات تنتقل من خلية لأخرى. يمكن لخلية ما أن تتحدث للتالية بإرسال جزيئات بينها. مثلاً، في شكل بسيط نسبياً من تواصل الخلايا فيما بينها، ترسل خلية ما إشارة، وفي هذه الحالة، جزيء. سوف يرتبط هذا الجزيء بالغشاء الخارجي، أو الغشاء البلازمي للخلية التي تتلقى الإشارة. وعند بدء اتصالها به، يحفز الجزيء تفاعلاً متسلسلاً من الأحداث الجزيئية، التي تنتقل من الغشاء الخارجي إلى النواة أحياناً. تذكر أن المعلومات الوراثية موجودة داخل النواة. و بناء عليه، فإن هذه الإشارة الجزيئية يمكن أن تسبب تنشيط جين ما، أو تثبيطه. والنتيجة النهائية لكل ذلك، هي أن الخلية التي تتلقى المعلومات تغير سلوكها الآن: قد تموت، أو تنتج جزيئات جديدة كاستجابة لرسالة الخلية الأخرى.

وعلى المستوى الأكثر بساطة، هذه هي الأشياء التي تجعل تشكيل الأجسام أمراً ممكناً. فجميع الحيوانات، التي لديها أجسام، تملك جزيئات بنائية كالكولاجين والبروتوجلايكانات، وجميعها تملك مصفوفة من المسامير الجزيئية، التي تمسك الخلايا معاً، وجميعها تملك الأدوات الجزيئية، التي تسمح للخلايا أن تتواصل معاً.

لدينا الآن صورة بحث لفهم كيفية نشوء الأجسام. ولمعرفة كيفية نشوء الأجسام، علينا البحث عن هذه الجزيئات في الأجسام الأكثر بدائية على وجه الأرض، ثم في المخلوقات، التي ليس لديها جسد البتة.

بناء الأجسام للانتفاخات

ما الذي يشترك به أستاذ جامعي مع انتفاخ؟ لنلق نظرة على أكثر الاجسام الحية بدائية هذه الأيام لنعرف الإجابة.

أحد هذه المخلوقات مشكوك في أمره على أنه لم ير في البرية. ففي أواخر الثمانينيات من القرن التاسع عشر، تم اكتشاف كائن بسيط غريب يعيش على الجدران الزجاجية للأحواض المائية. وعلى النقيض من أي شيء آخر حي، بدا ككتلة من المواد اللزجة. الشيء الوحيد الذي، يمكننا مقارنته به هو المخلوق الفضائي في فيلم ستيف ماكوين (Steve McQueen) المعروف (الفقاعة The Blob). تذكر أن الفقاعة كانت فقاعة متحولة، بعد أن سقطت من الفضاء الخارجي، قامت بابتلاع فريستها: كلاباً، وأناساً، وفي النهاية بعض الوجبات الصغيرة في بلدات صغيرة في بنسلفانيا. النهاية الهظمية للفقاعة كان على جانبها السفلي: لم نرها؛ سمعنا صراخ الكائنات المحبوسة هناك فقط. لو قمنا بتقليص الفقاعة إلى ما بين 200 و 1000 خلية، بقطر 2 مم تقريباً، فسوف يصبح لدينا المخلوق المبهم الحي المعروف باسم البلاكوزون (placozoan). للبلاكوزون أربع أنواع من الخلايا، تشكل جسداً بسيطاً جداً له شكل صحن صغير. إنه جسد حقيقي، بعض الخلايا تحت السطح متخصصة بالهضم، وأخرى لديها أسواط، تضرب؛ لتحرك المخلوق. وليس لدينا كثيراً من المعلومات حول ما تأكله في البرية، وأين تعيش، أو ماهية

موطنها الطبيعي. رغم ذلك، فإن تلك الفقاعات تكشف شيئاً هاماً بشكل مذهل: على الرغم من قلة عدد الخلايا المتخصصة، فإن هذه المخلوقات البدائية لديها تقسيم للعمل بين أجزائها.

إن أكثر ما يثير حول هذه الأجسام موجود فعلاً في البلاكوزونات. لديها أجسام حقيقية، على الرغم من أنها منظمة بشكل بدائي. عندما بحثنا في حمضها النووي، وفحصنا الجزيئات على سطح خلاياها، وجدنا كثيراً من أجهزة بناء أجسامنا موجودة هناك. للبلاكوزونات نسخ من مساميرنا الجزيئية، وأدوات التواصل الخلوية وهي، التي نراها في أجسامنا.

جهاز بناء الأجسام الموجود في الفقاعات، أبسط من بعض الطبعات القديمة، التي وجدها ريغينالد وسبريغ. هل يمكننا أن نذهب أبعد من ذلك، حتى لأنواع أكثر بدائية من أجسامنا؟ يمكن لجزء من الإجابة أن يكون في جزء من معدات المطبخ الكلاسيكية: الإسفنج. للوهلة الأولى، ليس الأسفنج بشيء كثير. إن جسد الأسفنج يتكون من مصفوفة الإسفنج ذاتها، وهي ليست مادة حية، إنها نوع من السيليكا (المواد الزجاجية)، أو كربونات الكالسيوم (مادة صلبة كالمحار) مع بعض الكولاجين المنتشر بينها. هنا بيت القصيد، الأمر، الذي يجعل الإسفنج مثيراً. تذكر أن الكولاجين هو جزء هام من المساحات بين الخلايا، الذي يثبت الخلايا، والعديد من الأنسجة معاً. الإسفنج قد لا يبدو كذلك، ولكن لديه واحدة من علامات الأجسام المميزة.

بيّن هـ.ف. ب ويلسون (H.V.P. Wilson) في أوائل القرن العشرين،

كم مدهشاً هو الإسفنج. لقد جاء ويلسون إلى جامعة نورث كارولينا (Unviersity of North Carolina) عام 1894 وهو أول أستاذ لعلم الأحياء فيها في عام 1894. وهناك بدأ في تدريب كادر من علماء الأحياء الأمريكيين، الذين كتب لهم أن يرسموا مجال الجينات، وبيولوجيا الخلية في شمال أمريكا للقرن القادم. وكرجل فتي، قرر ويلسون أن يركز بحوث حياته– من بين كل شيء– على الإسفنج. إحدى تجاربه كشفت قدرة مذهلة لهذه الحيوانات البسيطة ظاهرياً. لقد مررها عبر نوع من المناخل، التي كسرتها لمجموعة من الخلايا المبعثرة. وضع ويلسون الخلايا المتفرقة الشبيهة بالأميبا في طبق وراقبها. في البداية، بدأت تزحف على سطح الطبق، ثم حدث شيء مدهش: تجمعت الخلايا معاً. في البداية كونت كرات حمراء من الخلايا. ثم اكتسبت تنظيماً أكثر، مع تراص الخلايا في أنماط معينة. وأخيراً شكلت مجموعة الخلايا جسد اسفنج جديد كامل، ما هي الأنواع المختلفة من الخلايا، التي تأخذ مواضع مناسبة. لقد كان ويلسون يشاهد جسداً يتجمع من الصفر. لو كنا كالإسفنج، فإن شخصية ستيف بوسيمي (Steve Buscemi) الذي فرمته ألة تقطيع الأخشاب في فيلم الأخوة كوين (Coen) فارغو (Fargo) ستكون بخير. وفي الحقيقة، قد يتنشط بسبب تلك التجربة، حيث إن خلاياه تكون قد تجمعت؛ لتشكل معاً نسخاً كثيرة مختلفة منه.

إن الخلايا الموجودة ضمن الإسفنج، هي ما جعلها مفيدة في فهم أصل الأجسام. داخل الإسفنج عادة ما تكون مساحة مفرغة يمكن أن تنقسم إلى حجرتين، اعتماداً على النوع. يتدفق الماء عبر الفراغ، يقوده

نوع خاص من الخلايا. هذه الخلايا لها شكل الأقداح بحيث يواجه جزء الكأس الجزء الداخلي من الإسفنج. هناك أهداب دقيقة تمتد من حواف هذه الأقداح يشكل جزء منها سوطاً كبيراً. إن الحركة المتناغمة لهذه الأسواط من تلك الخلايا النابضة تحرك الماء، والطعام خلال ثغرات الإسفنج. وهناك خلايا أخرى داخل الإسفنج تقوم بمعالجة جزيئات الطعام. وأخرى أيضاً تبطن المنطقة الداخلية، ويمكنها الانقباض عندما يحتاج الإسفنج إلى تغيير شكله بتغير تيار الماء.

يبدو الإسفنج بعيداً كل البعد عن الجسد، ولكن لديه العديد من الخصائص الأكثر أهمية لأجسامنا: خلاياه تتقاسم الأدوار؛ يمكن للخلايا أن تتواصل معاً، ومصفوفة من الخلايا تعمل كفرد واحد. إن الإسفنج منظم، مع أنواع مختلفة من الخلايا في أماكن مختلفة تقوم بأشياء مختلفة. إنه بعيد عن جسد الإنسان بمليارات الخلايا المصطفة بدقة، لكنه يشترك بصفات مع الجسد البشري.

الأهم من ذلك كله، أن الإسفنج لديه تلاصق، وتواصل كبير بين الخلايا، وجهاز انطواء كالموجود لدينا. إن الإسفنج عبارة عن جسم، على الرغم من كونه بدائياً، وغير منظم نسبياً.

لدينا العديد من الخلايا كما هي الحال في البلاكوزونات والإسفنج. ومثلهما، تظهر أجسامنا تقسيماً للمهام بين الأجزاء. الجهاز الجزيئي الكلي، الذي يبقي الجسم متماسكاً. المسامير أيضاً تثبت الخلايا معاً، والأجهزة المختلفة التي تساعد الخلايا على إرسال الإشارات بينها، والعديد من الجزيئات، التي تكمن بين الخلايا. وكما هي الحال لدينا

ولدى الحيوانات الأخرى، فإن البلاكوزونات، والإسفنج لديها كولاجين أيضاً. وعلى النقيض منّا، فإن لديها نسخاً بدائية من هذه السمات جميعاً: فبدل واحد وعشرين نوعاً من الكولاجين لدى الإسفنج اثنين فقط؛ بينما لدينا المئات من الأنواع المختلفة من المسامير الجزيئية، لدى الإسفنج جزء بسيط من ذلك العدد. والإسفنج أبسط منا نحن، ولديه أنواع أقل من الخلايا، ولكن جهاز بناء الجسد الأساسي موجود لديه.

إن البلاكوزونات والإسفنج بسيطة بساطة الأجسام حالياً. للمتابعة، علينا البحث عن أشياء تبني أجسامنا في مخلوقات ليس لديها أجسام البتة: ميكروبات وحيدة الخلية.

كيف تقارن ميكروباً بحيوان له جسد؟ هل الأدوات التي تبني الأجسام في الحيوانات موجودة في الكائنات، وحيدة الخلية؟ وإن كانت كذلك، وإذا كانت لا تبني أجساداً فماذا تصنع؟

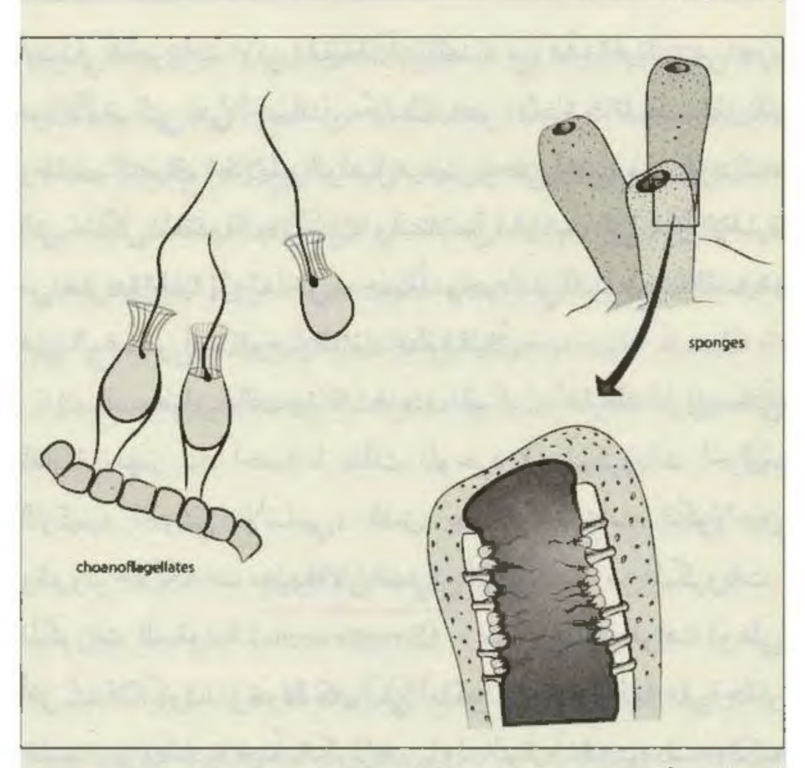
إن الطريقة المباشرة المؤهلة للبدء بالإجابة عن هذه الأسئلة، تكون بالنظر في جينات الميكروبات للبحث عن أوجه تشابهها مع الحيوانات. أول مقارنات بين جينات الحيوانات والبشر كشفت عن حقيقة مذهلة: في العديد من الخلايا وحيدة الخلية، يُوجد العديد من الآليات الجزيئية؛ لالتصاق الخلية وتفاعلها. حتى أن بعض التحاليل اقترحت أن أكثر من مئة من هذه الأنواع من الجزيئات موجودة في الحيوانات ذات الأجسام فقط، ولكنها غير موجودة في المخلوقات وحيدة الخلية. سيبدو هذا داعماً لفكرة أن الجينات، التي تساعد الخلايا على الاتحاد لتكوين الأجسام نشأت مع نشوء الأجسام. وللوهلة الأولى، يبدو منطقياً أن أدوات بناء الأجسام يجب

أن تنشأ في خطوة واحدة مع الأجسام نفسها.

انقلبت الحكاية رأساً على عقب عندما درست نيكول كينغ، من جامعة كاليفورنيا في بيركلي الكائنات المسماة بالسوطيات القمعية (choanoflagellates)، ولم يكن اختيارها لها مصادفة. فمن خلال عملها على الحمض النووي، عرفت أن السوطيات القمعية غالباً هي أقرب الكائنات الميكروبية للحيوانات ذات الأجسام، البلاكوزونات، والإسفنج. كما أنها شكت في أنّ هناك نسخاً من الحمض النووي، الذي يصنع أجسامنا مخبأ في جينات السوطيات القمعية.

لقد ساعد نيكول في دراستها مشروع الخارطة الوراثية البشرية (Human Genome Project)، وهو مشروع نجح في عمل خريطة لكل الجينات في أجسامنا. ومع نجاح مشروع الخارطة الوراثية البشرية جاءت العديد من دراسات رسم الخرائط الجينية: لدينا مشروع خارطة جينات الفئران، والذبابة، والنحل الطنان حتى أن هناك مشاريع لدراسة الخريطة الجينية للإسفنج، والبلاكوزونات، والميكروبات. هذه الخرائط تعد مناجم ذهب للمعلومات؛ لأنها تمكننا من مقارنة جينات بناء الأجسام في العديد من الأجناس المختلفة. كما أنها أعطت لنيكول الأدوات الجينية المناسبة لدراسة سوطياتها القمعية.

تبدو السوطيات القمعية خلايا شديدة الشبه بالخلايا القمعية داخل الإسفنج. وفي الحقيقة، اعتقد عديد من الناس لفترة طويلة من الزمن أنها عبارة عن إسفنج متفسخ فقط – اسفنج دون الخلايا الأخرى. وإن كانت هذه هي الحال، فإن الحمض النووي للسوطيات القمعية يجب أن يشبه ذلك



السوطيات الكاونية Choanoflagellates (يسار) والإسفنج (يمين).

الموجود في إسفنج غريب. إلا أنه ليس كذلك. عندما تمت مقارنة أجزاء من الحمض النووي للسوطيات القعمية مع الحمض النووي للميكروبات، والإسفنج، كان الشبه بينها وبين الحمض النووي للميكروبات فائقاً. إن السوطيات القمعية هي ميكروبات وحيدة الخلية.

إن الفرق الجيني بين الميكروبات وحيدة الخلية، والحيوانات ذات الأجسام تحطم تماماً بفضل عمل نيكول على السوطيات القمعية. معظم الجينات، التي تكون نشطة في السوطيات القمعية تكون نشطة

أيضاً في الحيوانات. وفي الحقيقة، فإن العديد من هذه الجينات هي جزء من الآلية، التي تبني أجسامنا. تكشف بعض الأمثلة متانة هذه المقارنة. وظائف التصاق الخلايا والتواصل بينها، وحتى أجزاء من الجزيئات، التي تشكل المصفوفة بين الخلايا والسلاسل الجزيئية، التي تمرر الإشارة من خارجة الخلية إلى الداخل – جميعاً موجودة في السوطيات القمعية، على الرغم من أنها تقوم بوظائف مختلفة قليلاً.

إن السوطيات القمعية قد قدمت لنيكول خارطة طريق حتّى لمقارنة جهاز بناء أجسادنا بذلك الموجود في ميكروبات أخرى. التركيب الجزيئي الأساسي، الذي يصنع مجموعات الكولاجين والبروتوجلايكانات معروفة من عدد من أنواع مختلفة من الميكروبات. المكورات العنقودية (Streptococcus) – موجودة في أفواهنا (وعلى أمل أن لا تكون موجودة كثيراً في أماكن أخرى) – لها على جدار خليتها جزيء شبيه جداً بالكولاجين. وله التوقيع الجزيئي نفسه، لكنه لا يتجمع؛ ليشكل حبالاً أو صفائح كما يفعل في الحيوانات. وبالمثل، فإن بعض السكريات، التي تصنع معقدات البروتوجلايكانات داخل غضاريفنا يمكن إيجادها في جذر عديد من أنواع البكتيريا. فوظيفتها في كل من البكتيريا والفيروسات ليست سارة تحديداً. إنها ذات صلة بكيفية اجتياح هذه العوامل للخلايا وإصابتها، وفي العديد من الحالات، تصبح أشد عدوى. العديد من الجزيئات، التي تستخدمها الميكروبات، التي تسبب لنا الشقاء هي نسخ بدائية من الجزيئات التي تجعل بناء أجسامنا ممكناً.

هذا يشكل لغزاً. في السجل الأحفوري، لا نرى شيئاً سوى ميكروبات طيلة 3,5 مليار سنة الأولى من تاريخ الأرض. ثم، فجأة، خلال فترة تصل ربما إلى 40 مليون سنة، تبدأ جميع الأنواع من الأجساد: أجسام نباتات، وحيوانات؛ أجساد في كل مكان. لقد كانت الأجساد بدعة حقيقية، إذا أخذت أعمال نيكول على ظاهرها، فإن القدرة على بناء الأجساد كانت موجودة قبل أن تظهر الأجساد على المسرح. فلمَ إذاً العجلة بالنسبة للأجساد بعد مثل هذا الوقت الطويل دون أجساد بتاتاً؟

عصف رائع في منشأ الأجسام

التوقيت هو كل شيء. أفضل الأفكار والاختراعات والمفاهيم لا تفوز بما تستحق دائماً. كم من الموسيقيين والمخترعين والفنانين كانوا سابقين لزمنهم ثم طوتهم الأيام ونسيناهم، ليتم اكتشافهم لاحقاً فقط ؟ ليس علينا أن نبحث أكثر من هيرو الإسكندري (Heron of Alexandia)، الذي- ربما في القرن الأول للميلاد- اخترع التوربين البخاري. لسوء الحظ، عدّ لعبة. لم يكن العالم مستعداً له بعد.

إن تاريخ الحياة يجري بالطريقة ذاتها. لكل شيء زمانه، وربما للأجسام حتى. لرؤية ذلك، علينا أن نفهم لمَ ظهرت الأجسام في المقام الأول.

إحدى النظريات حول ذلك غاية بالبساطة: ربما نشأت الأجسام

عندما طورت الميكروبات طرقاً جديدة؛ لتأكل بعضها، أو لتتجنب أن تؤكل؟ إن وجود جسد يحوي عديداً من الخلايا يسمح للمخلوقات أن تكبر. وغالباً ما تكون الزيادة في الحجم طريقة جيدة جداً؛ لتجنب أكلها. ربما نشأت الأجساد كآلية دفاع من هذا النوع فقط.

عندما طورت المفترسات طرقاً جديدة من الأكل، طورت الفريسة طرقاً جديدة؛ لتجنب ذلك المصير. ربما قاد هذا التفاعل إلى نشوء العديد من جزيئات بناء الأجسام. تتغذى العديد من الميكروبات بالالتصاق بميكروبات أخرى وابتلاعها. والجزيئات، التي تمكن الميكروبات من الإمساك بفريستها وتثبيتها، مرشحة غالباً لأن تكون الجزيئات، التي تشكل وصلات المسامير بين الخلايا في أجسامنا. بعض الميكروبات يمكنها في الواقع، التواصل فيما بينها بإنتاج مركبات تؤثر في سلوك الميكروبات الأخرى. يتضمن تواصل المفترس–الفريسة بين الميكروبات عادة قرائن جزيئية إما للحماية من المفترسات المحتملة، أو لتكون مغريات تجتذب الفريسة للاقتراب. ربما كانت الإشارات من هذا النوع هي المولد لأنواع الإشارات، التي تستخدمها خلايانا؛ لتبادل المعلومات والإبقاء على جسدنا متماسكاً.

يمكننا أن نتوقع هذه الأمور إلى ما لانهاية، ولكن الأكثر إثارة هو بعض الأدلة التجريبية الملموسة، التي تظهر الكيفية التي يمكن للافتراس بها أن ينتج أجساماً. إن هذا بالضرورة ما قدمه مارتين برواس (Martin Boraas) وزملاؤه. لقد أخذوا طحلباً وحيد الخلية، وتركوه يعيش في المختبر لأكثر من ألف جيل. ثم أدخلوا مفترساً، مخلوقاً وحيد الخلية له

سوط يمكنه أن يبتلع الميكروبات الأخرى؛ لكي يهظمها. في أقل من مئتي جيل، استجابت الطحالب بتكون مجموعة من مئات الخلايا، ومع الوقت، انخفض عدد الخلايا حتى بقي هناك ثمانٍ فقط في كل مجموعة. لقد اتضح أن العدد ثمانٍ هو الأفضل؛ لأنه جعل الطحالب كبيرة كفاية حيث يصعب بلعها، ولكنه رغم ذلك صغير كفاية، لتتمكن كل خلية من التقاط الضوء كي تعيش. إن أكثر الأمور إدهاشاً ما حصل عندما أزيل المفترس: لقد استمرت الطحالب بالتناسل، وتشكيل أفراد الثماني خلايا. وباختصار، نسخة بسيطة من شكل الخلايا العديدة نشأ من عديمة الأجسام.

إذا أمكن لتجربة أن تنتج تنظيماً كالجسد من لا شيء في بضع سنوات، تخيل ما يمكن أن يحدث في مليارات السنين. لم يعد السؤال إذاً كيف نشأت الأجسام، ولكن لماذا لم تنشأ في وقت أبكر؟

إن الإجابات على هذا اللغز يكمن في البيئة القديمة، التي نشأت فيها الأجساد: ربما لم يكن العالم جاهزاً للأجسام.

إن تكوين جسم أمر مكلف جداً. هناك حسنات واضحة لأن يكون المرء مخلوقاً له جسد كبير: بالإضافة إلى تجنب المفترسات، يمكن للحيوانات ذات الأجسام أكل مخلوقات أصغر منها، والتحرك بشكل فعال لمسافات طويلة. إن كلاً من هاتين القدرتين تسمحان للحيوان أن يسيطر بشكل أكبر على بيئته. ولكنْ كلتاهما تستهلكان قدْراً كبيراً من الطاقة. تتطلب الأجسام طاقة أكبر حتى كلما أصبحت أكبر، وخصوصاً إذا كانت تحتوي على الكولاجين. إن الكولاجين يتطلب

قدْراً كبيراً نسبياً من الأكسجين؛ لتكوينه، وكان ليزيد بقدر هائل من حاجة أسلافنا لهذا العنصر الأيضي الهام.

ولكن المشكلة هي أنّ مستويات الأكسجين على الأرض كانت منخفضة جداً قديماً. فلمليارات السنين، لم تصل مستويات الأكسجين حتى إلى ما يقارب ما هي عليه اليوم. ثم- قبل ما يقارب مليار سنة خلت- ارتفعت مستويات الأكسجين بشكل حاد، وبقيت عالية نسبياً منذ ذلك الوقت. كيف نعرف ذلك؟ من كيمياء الصخور. إن الصخور، التي يبلغ عمرها ما يقارب المليار سنة تظهر تواقيع تخبرنا أنها تكونت مع زيادة كميات الأكسجين. فهل يمكن أن يكون الارتفاع في الأكسجين في الغلاف الجوي مرتبطاً بنشوء الأجسام؟

ربما استغرق الأمر مكافئاً مستحاثاً لعاصفة مثالية لإنشاء الأجسام. لمليارات السنين، طورت الميكروبات طرقاً جديدة؛ للتفاعل مع بيئتها وفيما بينها. وبذلك، فقد أثرت على الأجزاء والأدوات الجزيئية لبناء الأجسام، رغم أنها استخدمتها لأغراض أخرى. إن أحد أسباب نشوء الأجسام كان موجوداً: بما يقارب مليار السنة خلت، تعلمت الميكروبات أكل بعضها. وقد كان هناك سبب لبناء الأجسام، والأدوات اللازمة لذلك كانت موجودة فعلاً.

كان هناك شيء مفقود. ذلك الشيء هو وجود الأكسجين الكافي على الأرض لدعم الأجسام. وعندما ارتفعت مستويات الأكسجين على الأرض، ظهرت الأجسام في كل مكان. ولم تكن الأرض لتبقى على ما كانت عليه.

الفصل الثامن

إنتاج الروائح

كان هناك توتر في أوائل الثمانينيات من القرن العشرين، بين علماء الأحياء الجزيئية، والعلماء الآخرين، الذين كانوا يعملون على المخلوقات - من علماء بيئة، وتشريح ومستحاثات—فعلماء التشريح مثلاً، كان ينظر إليهم على أنهم رجعيون، يتلهون بنوع عفا عليه الزمن من العلم. لقد كان علم الأحياء الجزيئية يدفع بثورة في المذاهب التشريحية والأحياء التطورية، إلى حد أن المجالات الكلاسيكية كعلم المستحاثات، بدت طرقاً مسدودة في تاريخ علم الأحياء. لقد كنت أشعر بذلك، بسبب حبي للمستحاثات، كنت سأُستبدل بإحدى تلك الآلات المؤتمتة؛ لتحديد سلاسل الحمض النووي.

وبعد عشرين سنة، لا أزال أحفر في التراب وأكسر الصخور. كما أنني أجمع الحمض النووي، وأبحث في دوره التطوري. عادة ما تبدأ الجدالات بسيناريوهات «إمّا - أو». ومع الزمن، قدمت مواقف الـ«إما—أو» هذه طرقاً لمذهب أكثر واقعية. تبقى المستحاثات والسجل الجيولوجي مصدراً قوياً جداً للأدلة حول الماضي، لا شيء آخر يكشف البيئة الحقيقية والتراكيب الانتقالية، التي كانت موجودة خلال تاريخ الحياة. وكما رأينا، فإن الحمض النووي يعد نافذة قوية لا مثيل لها على

تاريخ الحياة وتكون الأجسام والأعضاء. إن دوره هام بشكل خاص عندما تصمت السجلات الأحفورية. إن أجزاءً كبيرة من أجسامنا – كالأنسجة الطرية – لا تتحجر بسهولة. وفي هذه الحالات، يكون سجل الحمض النووي كل ما لدينا تقريباً.

إن استخراج الحمض النووي من الأجسام سهل جداً، سهل إلى درجة أنه بإمكاننا فعل ذلك في المطبخ. خذ حفنة من الأنسجة من نبات أو حيوان ما – بازيلاء، أو لحم، أو كبد دجاج– أضف بعض الملح والماء، وضع كل شيء في الخلاط لسحق الأنسجة. ثم أضف بعض صابون غسيل الأطباق. يقوم الصابون بتكسير الأغشية، التي تحيط بالخلايا في النسيج والتي كانت صغيرة جداً على الخلاط ليقوم بتكسيرها. بعد ذلك، أضف بعض مطريات اللحوم. تقوم هذه المطريات بهضم بعض البروتينات، التي ترتبط بالحمض النووي. لديك الآن حساء صابوني لحومه مطرّاة، داخلها الحمض النووي. أخيراً، أضف بعض كحول التعقيم إلى الخليط. سوف يصبح لديك طبقتان من السائل: هريس صابوني في القاع، وكحول شفاف في الأعلى. إن الحمض النووي ينجذب بشكل خاص إلى الكحول، وسوف ينتقل معه. إذا ظهرت كرة بيضاء لزجة في الكحول، فقد قمت بكل شيء بشكل صحيح. إن هذه الكرة اللزجة هي الحمض النووي.

أنت الآن في وضع يسمح لك باستخدام تلك الكرة البيضاء اللزجة؛ لفهم العديد من الصلات الأساسية بيننا، وبين بقية الكائنات الحية. الخدعة، التي نقضي عليها ساعات وأموال طائلة، تأتي من مقارنة

تركيب الحمض النووي ووظيفته في الأجناس المختلفة. هنا جزء منافٍ للمنطق. باستخراج الحمض النووي من أي نسيج- لنقل الكبد- من أجناس مختلفة، يمكننا في الواقع تفكيك شيفرة تاريخ أي جزء من جسمنا تقريباً، بما في ذلك حاسة الشم لدينا. في ذلك الحمض النووي، سواء جاء من كبد، أم دم، أو عضلات، يوجد الكثير من الأجهزة، التي نستخدمها؛ لنكشف عن الروائح في بيئتنا. لنتذكر أن جميع خلايانا تحتوي على الحمض النووي ذاته، ما يختلف هو أي الأجزاء نشطة من ذلك الحمض. إن الجينات، التي تتحكم بحاسة الشم موجودة في خلايانا كلها، رغم أنها تنشط في المنطقة الأنفية فقط.

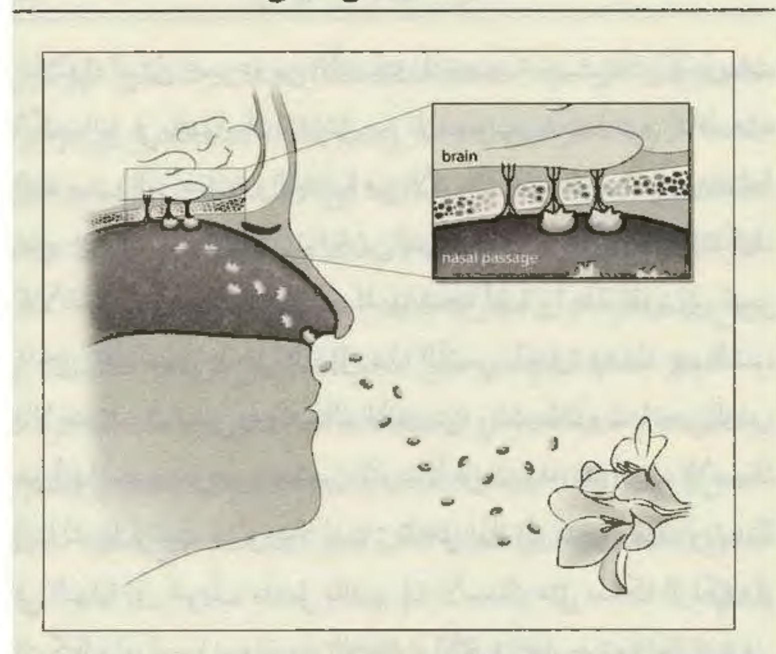
وكما نعلم جميعاً، فإن الروائح، التي تسبب سيالات في أدمغتنا قد يكون لها أثر واضح في كيفية إدراكنا للعالم. وقد تقودنا نفحة ما إلى استذكار صفوف الطفولة أو دفء عليّة أجدادنا العتيق، كل مناسبة تجلب مشاعر مدفونة منذ زمان بعيد؛ لتطفو على سطح الذاكرة. والأهم من ذلك، أن الروائح يمكن أن تساعدنا لنعيش. فرائحة الطعام اللذيذ تجعلنا نجوع، ورائحة المجاري تجعلنا نشعر بالغثيان. ونحن نميل لأن نتجنب البيض الفاسد. هل تريد أن تبيع منزلك؟ سيكون من الأفضل كثيراً أن تخبز الخبز في الفرن من غلي الملفوف على الموقد عندما يمر بك المشترون المحتملون. إننا جميعاً نستثمر أموالاً طائلة في حاسة الشم ففي عام 2005 أنتجت صناعة العطور 24 مليار دولار في الولايات المتحدة وحدها. وهذا كله يشهد على مدى تعمق حاسة الشم داخلنا؛ لأنها عتيقة جداً.

إن حاسة الشم تسمح لنا بالتمييز بين خمس إلى عشرة آلاف رائحة. بعض الناس يمكنه أن يكشف جزيئات الرائحة في قرن من الفلفل بتركيز أقل من جزء من التريلليون. وهذا أشبه بالتقاط حبة واحدة من الرمل من شاطئ بطول ميل كامل. فكيف لنا أن نفعل ذلك؟

إن ما ندرك أنه رائحة، هو استجابة دماغنا لخليط من الجزيئات الطيارة في الهواء. الجزيئات التي نسجلها في النهاية روائح دقيقة جداً، وخفيفة جداً حيث تتعلق بالهواء. عندما نتنفس أو نشم، فإننا نسحب جزيئات الرائحة هذه إلى خيشومينا. ومن هناك، تنتقل الجزيئات إلى منطقة خلف الأنف، حيث يتم اقتناصها من قبل البطانة المخاطية للممرات الأنفية. داخل هذه البطانة، هناك رقعة من النسيج تحتوي على ملايين الخلايا العصبية، لكل واحدة منها زوائد صغيرة في الغشاء المخاطي. فعندما ترتبط الجزيئات الموجودة بالهواء بالخلايا العصبية، يتم إرسال الإشارات إلى دماغنا، الذي يسجل هذه الإشارات أنها رائحة.

الجزء الجزيئي من الشم يعمل كآلية القفل والمفتاح. والقفل هنا هي جزيئات الرائحة، بينما المفتاح هو المستقبل على الخلايا العصبية. أي جزيء يتم التقاطه بواسطة الأغشية المخاطية في أنفنا يتفاعل مع مستقبل على الخلية العصبية. لا تنتقل الإشارة إلى الدماغ إلا عندما يرتبط الجزيء بالمستقبل. وكل مستقبل له نوع خاص به من الجزيئات؛ لذلك، قد تتضمن رائحة معينة العديد من الجزيئات، ووفقاً لذلك، العديد من المستقبلات، التي ترسل إشارات لأدمغتنا.

إن أشبه شيء للشم هو الموسيقى: الكورد (Chord). إن الكورد

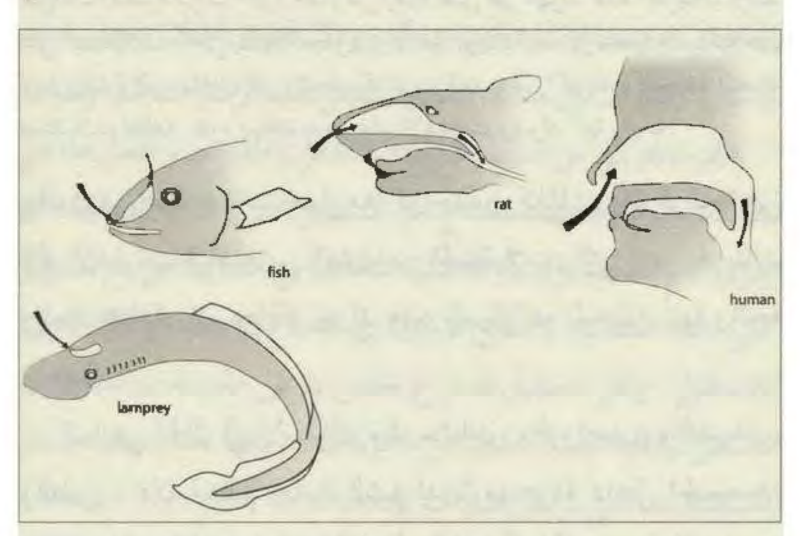


جزيئات (مكبرة مرات كثيرة جداً) من زهرة تعبق عبر الهواء. هذه الجزيئات ترتبط على مستقبلات داخل بطانة التجاويف الأنفية. وعند البدء بارتباطها بالمستقبلات، ترسل إشارة إلى دماغنا. كل رائحة مكونة من العديد من الجزيئات المختلفة المتصلة بمستقبلات مختلفة. يقوم دماغنا بدمج هذه الإشارات ويدرك أنها رائحة.

يتكون من عدة نغمات تعمل معاً كواحدة. وكذلك، فإن الرائحة هي ناتج الإشارات الناشئة من العديد من المستقبلات، التي ترمز لجزيئات رائحة مختلفة. إن دماغنا يدرك هذه السيالات المختلفة أنها رائحة واحدة.

كما هي الحال في الأسماك، والبرمائيات، والزواحف، والثدييات، والطيور، فإن معظم حاسة الشم لدينا موجودة داخل الجمجمة. وكالحيوانات الأخرى، لدينا ثقب أو اثنان يمكننا أن نسحب الهواء من

خلالها، ثم إلى مجموعة من الأنسجة المتخصصة حيث يمكن للجزيئات الكيميائية في الهواء أن تتفاعل مع الأعصاب. يمكننا تتبع أنماط هذه الثقوب، والفراغات، والأغشية من الأسماك حتى الإنسان وإيجاد نمط عام. إن أكثر المخلوقات بدائية ممن لديها جماجم، الأسماك اللافكية: كالأنقليس، وسمك الشيطان، لديها فتحة أنفية واحدة تقود إلى كيس داخل الجمجمة. يدخل الماء إلى هذا الكيس المغلق، وهناك يتم الشم، فالاختلاف الرئيسي بين أسماك الأنقليس، والشيطان وبيننا نحن البشر، هو أنها تستخلص الرائحة من الماء بدلاً من الهواء. إن أقرب الأسماك إلينا لديها ترتيب كالموجود لدينا: يدخل الماء إلى فتحة أنفية، ويذهب في النهاية إلى تجويف متصل بالفم. إن الأسماك مثل سمكة الرنكة، أو التيكتاليك، لديها نوعان من الفتحات الأنفية: خارجية وداخلية. وهي



الفتحات الأنفية وتدفق جزيئات الرائحة من الأسماك بلا فكوك إلى الإنسان.

تشبهنا بهذا كثيراً. إذا جلست مغلقاً فاكَ وتنفست، سيدخل الهواء إلى الفتحة الأنفية الخارجية، ويمر عبر التجاويف الأنفية؛ ليصل إلى مؤخرة حلقك عبر ممرات داخلية. إن أسلافنا من الأسماك لديهاء فتحات أنفية خارجية وداخلية أيضاً، وهذه الأسماك هي ذاتها، التي لديها عظام ذراع وسمات أخرى مشتركة معنا.

تحتوي حاسة الشم لدينا على سجل عميق من تاريخنا كأسماك، أو برمائيات، أو ثدييات. ومن الاكتشافات الهامة في فهم هذه الظاهرة ما حصل في عام،1991 عندما اكتشفت ليندا باك (Linda Buck) وريتشارد آكسل (Richard Axel) العائلة الكبيرة من الجينات، التي تعطينا حاسة الشم.

لقد استخدمت باك وآكسل ثلاثة افتراضات رئيسية؛ لتصميم تجاربهما أولاً، عَرَضا فرضية منطقية– بناءً على دراسات تمت في مختبرات أخرى– حول ما قد تبدو عليه الجينات، التي تصنع مستقبلات الرائحة. وقد أظهرت التجارب أن مستقبلات الروائح لها تركيب مميز معد من عدد من حلقات الجزيئات، التي تساعدها على إيصال المعلومات عبر خلية ما. وقد كان هذا قرينة هامة؛ لأن باك وآكسل استطاعا بعدها البحث في الخريطة الجينية للفأر عن كل جين يصنع هذا التركيب. ثانياً، افترضا أن الجينات لهذه المستقبلات يجب أن يكون لها نشاط خاص جداً – وهو أن تكون نشطة في الأنسجة المتخصصة بالشم فقط. وهذا منطقي: إن كان أمر ما له صلة بالشم، فيجب أن يكون محصوراً بالأنسجة المتخصصة بهذا الغرض. ثالثاً – وكان هذا الأخير افتراضاً

عظيماً - برر آكسل وباك: أنه لم يكن هناك جين واحد، أو حتى عدد قليل من هذه الجينات، يجب أن يكون هناك العديد منها. وقد كانت هذه الفرضية في الواقع مبنية على حقيقة المقاربة واحد إلى واحد بين كل نوع من المواد الكيميائية والمستقبل/الجين المتخصص به، لذلك كان لا بد من وجود العديد من الجينات. ولكن مع البيانات، التي كانت لديهم في ذلك الوقت، لم يكن من الضروري أن يكون هذا صحيحاً.

لقد تم الأخذ بافتراضات باك وآكسل الثلاثة بشكل ممتاز. لقد وجدوا جينات لها خصائص تركيب المستقبل، الذي كانوا يبحثون عنه. وجد واأن كل هذه الجينات كانت نشطة في الأنسجة المتخصصة بالشم فقط، الظهارة الشمية (Olfactory epithelium). وأخيراً، وجدوا عدداً كبيراً من هذه الجينات. وكانت تجربتهم ناجحة. ثم اكتشف باك وآكسل أمراً مذهلاً حقاً: ثلاثة بالمئة من تركيبنا الوراثي مكرسة لجينات الكشف عن الروائح المختلفة. كل واحد من هذه الجينات يقوم بصناعة مستقبل لجزيء رائحة. وعلى عملهم هذا، حصلت باك وآكسل على جائزة نوبل مقاسمة بينهما في عام 2004.

بعد نجاح باك وآكسل، بدأ الناس يبحثون في جينات المستقبلات الشمية لدينا في أجناس أخرى. وقد اتضح أن هذه الجينات عبارة عن سجل حي لبعض الفترات الانتقالية في تاريخ الحياة. لنأخذ الانتقال من الماء إلى اليابسة قبل حوالي 365 مليون سنة. لقد كان هناك نوعان من جينات الشم: أحدها متخصص بالتقاط الروائح الكيميائية في الماء، والآخر متخصص بالهواء. التفاعل الكيماوي بين جزيء الرائحة

والمستقبل يختلف إذا كان في الماء عنه في الهواء، ومن هنا جاءت الحاجة إلى مستقبلات مختلفة قليلاً. ويمكننا التوقع، أن للأسماك مستقبلات مصممة للعمل في الماء في عصبوناتها الأنفية، والثدييات والزواحف لديها مستقبلات مصممة للعمل في الهواء.

يساعدنا هذا الاكتشاف على تبرير العلاقة بين معظم الأسماك الأكثر بدائية، والتي لا تزال حية على هذا الكوكب حتى الآن الأسماك عديمة الفك كالأنقليس وسمك الشيطان. يتضح أن هذه المخلوقات ليس لديها، على النقيض من الأسماك والثدييات الأكثر تطوراً، جينات مستقبلات هوائية أو مائية أبداً، وبدل ذلك، فإن المستقبلات لديها يمكنها أن ترتبط بالنوعين. والنتيجة واضحة: هذه الأسماك البدائية نشأت قبل أن تنقسم جينات الشم إلى نوعين.

تكشف الأسماك عديمة الفك عن نقطة هامة أخرى: لديها عدد صغير جداً من جينات الشم. لدى الأسماك ذات العظام عدد أكبر، ونرى عدداً أكبر من ذلك في البرمائيات والزواحف. لقد ازداد عدد الجينات الخاصة بالشم مع الزمن، من بضعة جينات نسبياً في المخلوقات البدائية كالأسماك عديمة الفك، إلى عدد هائل نراه في الثدييات. نحن الثدييات، مع أكثر من ألف من هذه الجينات، نكرس جزءاً هائلاً من جهازنا الجيني فقط للشم. على فرض أنه كلما زاد عدد هذه الجينات في الحيوان، كلما زادت حدة تمييزه للأنواع المختلفة من الروائح. وفي ضوء ذلك، فإن العدد الكبير من جينات الشم لدينا منطقي، فالثدييات حيوانات متخصصة جداً بالشم. ولإدراك ذلك،

انظر إلى فعالية كلاب اقتفاء الأثر.

لكن من أين أتت كل الجينات الشمية الإضافية؟ هل نشأت من العدم؟ تبدو كيفية حدوث هذا الازدياد الهائل جليّة، إذا نظرنا إلى تركيب الجينات. إذا قارنت جينات الرائحة للثدييات بعدد من جينات الشم في الأسماك عديمة الفك، فإن الجينات الإضافية في الثدييات تبدو تنويعات على وتيرة واحدة: فهي تبدو كنسخ، على الرغم من كونها معدّلة، من الجينات الموجودة في الأسماك عديمة الفك. هذا يعني أن العدد الهائل من جينات الشم الموجودة لدينا قد نشأت بعدة دورات من التضاعفات لعدد صغير من الجينات الموجودة في الأجناس البدائية.

هذا يقودنا إلى تناقض. يكرس البشر ما يقارب 3 بالمئة من المادة الوراثية لجينات الشم، كأي حيوان ثديي آخر تماماً. عندما نظر علماء الوراثة إلى تركيب الجينات البشرية بشكل مفصل، وجدوا مفاجأة كبيرة: هناك ثلاثمئة كاملة من هذه الجينات الألف قد أصبحت بلا وظيفة تماماً؛ بسبب الطفرات، التي غيرت تركيبها بحيث لا يمكن إصلاحها. (الحيوانات الأخرى تستخدم هذه الجينات). لكن، لمَ هذا العدد الكبير من جينات الشم، بينما لا يتم استخدام كثير منها؟

تقدم الدلافين والحيتان، من بين جميع المخلوقات، نافذة تساعدنا على الإجابة على هذا السؤال. كجميع الحيوانات الثدية، للدلافين والحيتان شعر، وأثداء، وأذن وسطى ثلاثية العظام. كما أن تاريخها الثديي مسجل في جينات الشم لديها: فليس لديها جينات متخصصة بالشم في الماء كالتي في الأسماك، بل للحيتان جينات ثدية مخصصة

للشم في الهواء. إن تاريخ الحيتان والدلافين الثديي مسجل في الحمض النووي لجهاز إدراك الروائح. ولكن هناك أحجية مثيرة: لا تستخدم الدلافين والحيتان ممراتها الأنفية للشم. فماذا تفعل هذه الجينات إذاً؟ إن الممرات الأنفية السابقة قد تحورت في هذه الأسماك إلى فتحة النفخ (Blowhole)، وهو يستخدم للتنفس، وليس للشم. وقد كان لذلك تأثير كبير على جينات الشم: جميع جينات الشم لدى الحيتان موجودة، لكنها جميعاً غير نشطة.

إن ما حدث لجينات الشم لدى الدلافين والحيتان قد حدث أيضاً لجينات العديد من الأجناس الأخرى. إن الطفرات تظهر في المادة الوراثية من جيل لآخر. فإذا أصابت الطفرة وظيفة جين ما، قد تكون النتيجة خطرة، أو حتى قاتلة. ولكن ماذا يحدث لو أن الطفرة أصابت وظيفة جين لا يفعل شيئاً؟ هناك الكثير من النظريات الرياضية التي تقول بوضوح: مثل هذه الطفرات سوف تمر بصمت من جيل لآخر. وهذا ما يبدو أنه حدث في الدولفينات تماماً. لم تعد هناك حاجة لجينات الشم لديها، وبوجود فتحة النفخ، فإن الطفرات، التي أصابت وظيفتها قد تراكمت مع مرور الزمن. لم يعد للجينات فائدة، ولكنها بقيت موجودة في الحمض النووي كسجلات صامتة للتطور.

ولكن لدى الإنسان حاسة شم، لَمِ إذاً لدينا العديد من جينات الشم الطافرة؟ لقد أجاب يولاف جلعاد (Yoav Gilad)، وزملاؤه على هذا السؤال بمقارنة الجينات من مختلف الرئيسيات (Primates). وقد وجد أن الرئيسيات، التي تطور رؤية ملونة تميل لأن يكون لديها الكثير من

جينات الشم الطافرة. وهذه النتيجة واضحة. فنحن البشر جزء من سلالة قايضت الشم بالنظر. ونحن نعتمد الآن على النظر أكثر من الشم، وهذا قد انعكس في مادتنا الوراثية. بهذه المقايضة، قل التركيز على حاسة الشم لدينا، وقد أصبحت العديد من جينات الشم لدينا بلا وظيفة.

إننا نحمل كثيراً من الأمتعة في أنوفنا – أو للمزيد من الدقة– في الحمض النووي، الذي يتحكم بحاسة الشم لدينا. إن المئات من الجينات، التي بلا فائدة من جينات الشم، هي ما تركه أسلافنا من الثدييات، التي اعتمدت بشكل أكبر على حاسة الشم من أجل البقاء. في الحقيقة، يمكننا أن ننقل هذه المقارنات إلى ما هو أعمق من ذلك حتى. كنسخ مصورة تفقد نقاءها كلما تمت إعادة نسخها، فإن جينات الشم لدينا تصبح أكثر تبايناً عندما نقارن أنفسنا بمخلوقات أكثر بدائية بشكل متسلسل. إن جيناتنا مشابهة لجينات الرئيسيات، وأقل شبهاً بجينات الثدييات الأخرى، وأقل من ذلك شبهاً بجينات الزواحف، والبرمائيات، والأسماك، وهكذا. إن هذه الأمتعة تعد شاهداً صامتاً على ماضينا، فداخل أنوفنا شجرة حياة حقيقية.

الفصل التاسع

الرؤية

وجدت لمرة واحدة فقط في حياتي عينَ مخلوقٍ من المستحاثات. لم أكن في الحقل، أو في رحلة استكشافية. لقد كنت في الغرفة الخلفية لدكان معادن في بلدة صغيرة في شمال شرق الصين. كنا أنا وزميلي غاو كيكين (Gao Keqin) نبحث عن أقدم السلمندرات المعروفة، مستحاثات جميلة جمعت من صخور صينية عمرها ما يقارب 160 مليون عام. لقد كنا قد انتهينا فوراً من رحلة لبعض المواقع التي يعرفها غاو. لقد كانت المواقع سرية؛ لأن مستحاثات السلمندر هذه لها قيمة نقدية عالية لدى المزارعين، الذين يجدونها في العادة. إن ما جعلها ذات طابع خاص، هو أن طبع الأنسجة الطرية كالخياشيم، والأمعاء، والحبل الظهري فيها محفوظة.

لقد وقعت يدا بائع المعادن هذا تحديداً على واحدة من أفضل مستحاثات السلمندر في التاريخ. لقد أراد غاو أن نراها، وقضى معظم اليوم يحاول أن يعقد صفقة مع التاجر. لقد كانت الزيارة كاملة ذات طابع غير شرعي. قضى غاو عدة ساعات يدخن السجائر مع الرجل، متحدثاً ومومئاً بالصينية. وكان واضحاً أن هناك مقايضة ما تتم، ولكن لأنني لا أعرف الصينية، لم يكن لدي أدنى فكرة عن العروض، التي

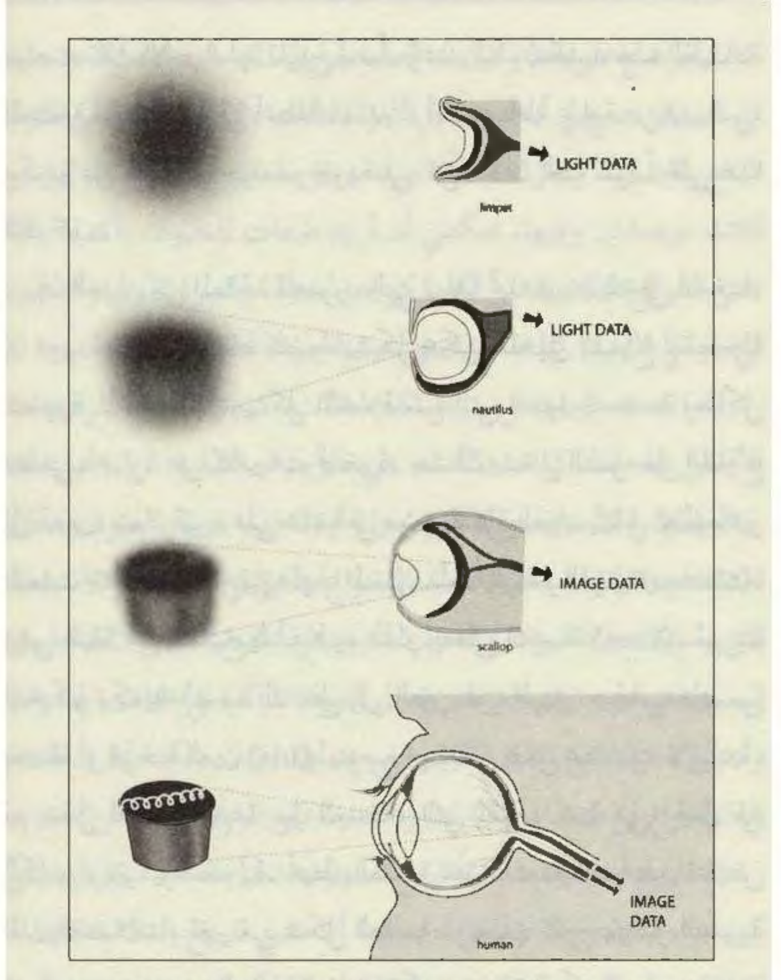
كانت توضع على الطاولة. بعد العديد من المصافحات ومصافحة حارة في النهاية، سمح لي أن أذهب إلى الغرفة الخلفية، لألقي نظرة على طاولة البائع. لقد كان منظراً مذهلاً: جسد يرقة سلمندر، لا يزيد طولها عن ثلاث بوصات. وفيها، أمكنني أن أرى طبعات للحيوان بأكمله، كله حتى القواقع الصغيرة التي أكلها كوجبة أخيرة. وللمرة الأولى والأخيرة في حياتي المهنية، كنت أحدق في عين الحيوان المستحاث القديم.

قلما تصمد العيون في سجل المستحاثات. كما رأينا، فإن المرشحات الأفضل للحفظ كمستحاثات، هي الأجزاء الصلبة من الحيوانات - العظام، والأسنان، والقشور. فإذا أردنا فهم تاريخ العيون، يمكننا استخدام حقيقة هامة لصالحنا. هناك تنوع مذهل في الأعضاء والأنسجة، التي يستخدمها الحيوان لالتقاط الضوء، من أعضاء المستقبلات الحسية البسيطة في الحيوانات اللافقارية، إلى العيون المركبة في مختلف الحشرات وأعيننا نحن، التي تشبه الكاميرا في عملها. كيف يمكننا أن نستخدم هذا التنوع في فهمنا لكيفية تطور القدرة على الرؤية مع الزمن؟

إن تاريخ أعيننا يشبه كثيراً تاريخ السيارات. لنأخذ مثلاً سيارة تشيفي كورفيت (Chevy Corvette). يمكننا أن نتتبع تاريخ العلامة كلها - كورفيت - وتاريخ كل جزء من أجزائها. إن لكورفيت تاريخ، يبدأ مع نشأتها في عام 1953، ويستمر عبر التصاميم المختلفة كل عام. كما أن للإطارات المستخدمة في كورفيت تاريخ، وهذا هو أيضاً حال المطاط المستخدم فيها. إن هذا تشبيه رائع للأجسام والأعضاء. فلأعيننا تاريخ كأعضاء، ولكن أجزاء العين كالخلايا والأنسجة، وحتى الجينات، التي

صنعت تلك الأجزاء لها تاريخ أيضاً. وعند البدء بتحديد هذه الطبقات المختلفة من التاريخ في أعضائنا، ندرك أننا ببساطة عبارة عن فسيفساء مكونة من قطع، وأجزاء موجودة في كل مكان آخر تقريباً على هذا الكوكب.

إن العديد من المعالجة للصور، التي نراها تحدث حقيقة في أدمغتنا: إن دور العين هو التقاط الضوء بشكل يمكن نقله إلى الدماغ للمعاجلة كصورة. أعيننا، كأعين كل المخلوقات، التي لديها جمجمة وهيكل عظمي، عبارة عن كاميرات صغيرة. بعد أن يدخل الضوء من الخارج إلى العين، يتم تركيزه على شاشة في مؤخرة كرة العين. ينتقل الضوء عبر طبعات عدة خلال اجتيازه لهذا المسار. فأولاً يمر عبر القرنية (Cornea)، وهي طبقة من النسيج الشفاف، الذي يغطي العدسة (Lens). ثم يتم التحكم بكمية الضوء الداخل إلى العين عن طريق حجاب، يسمى بحدقة أو قزحية العين (Iris)، يتوسع وينقبض بفعل عضلات لاإرادية. ثم ينتقل الضوء بعدها عبر العدسة، التي تقوم، كما هي الحال في الكاميرا، بتركيز الصورة. تحيط بالعدسة عضلات دقيقة، عندما تنقبض تلك العضلات، تغير من شكل العدسة، وبذلك تقوم بتركيز الصورة عن قرب وعن بعد. العدسة السليمة تكون شفافة ومكونة من بروتينات خاصة تعطيها شكلها المميز، وخصائصها الجامعة للضوء. تعرف هذه البروتيان بمتبلورات العدسة (lens crystallins)– وهي طويلة العمر– مما يسمح للعدسات أن تستمر في أداء مهامها مع تقدمنا بالعمر. الشاشة التي يسقط عليها الضوء– الشبكية (Retina)– ملأى بالأوعية



ازدياد تركيز العين: من الأجهزة، التي تلتقط الضوء في اللافقاريات إلى عيوننا، التي تشبه الكاميرا مع عدسة. وبتطور العين، تزداد حدة البصر.

الدموية ومستقبلات الضوء. ترسل مستقبلات الضوء هذه الإشارات إلى دماغنا، حيث نفسرها بعد ذلك كصور. تمتص الشبكية الضوء عبر خلايا حساسة جامعة للضوء. هناك نوعان من هذه الخلايا: الأول

حساس للضوء جداً، والثاني أقل حساسية له. الخلايا الأكثر حساسية للضوء تسجل فقط باللون الأسود والأبيض، بينما تسجل الخلايا الأقل حساسية الألوان. إذا نظرنا حولنا في عالم الحيوان، يمكننا أن نقيم فيما إذا كان الحيوان متخصصاً للنهار، او الليل بالنظر إلى نسب كل نوع من الخلايا الجاسة للضوء في عينه. في الإنسان تشكل هذه الخلايا ما يقارب 70٪ من جميع الخلايا الحسية في أجسامنا. وهذا تصريح واضح حول أهمية البصر بالنسبة لنا.

إن أعيننا، التي تشبه الكاميرا موجودة لدى كل المخلوقات التي لديها جمجمة، من الأسماك إلى الثدييات. وفي مجموعات أخرى من الحيوانات، نجد أعيناً مختلفة، تتراوح من بقع بسيطة من الخلايا المتخصصة في كشف الضوء، إلى أعين بعدسات مركبة كتلك الموجودة في الذباب، إلى نسخ بدائية من أعيننا نحن. إن مفتاح فهمنا لتاريخ أعيننا هو فهم العلاقة بين التراكيب، التي تشكل معاً أعيننا التي تشبه الكاميرا، وتلك التي تشكل كل الأنواع الأخرى من الأعين جميعاً. وللقيام بذلك، سندرس الجزيئات، التي تجمع الضوء، والأنسجة التي نستخدمها لنرى، والجينات التي تدير الأمر كله.

الجزيئات المجمعة للضوء

إن العمل المهم فعلاً في الخلايا الجامعة للضوء يتم داخل الجزيء، الذي يجمع الضوء حقاً. عندما يمتص هذا الجزيء الضوء، فإنه يغير

شكله ويتحطم إلى جزأين. أحدهما مشتق من فيتامين أ، والآخر بروتين اسمه أوبسين (Opsin) عندما يتفكك الأوبسين، يشعل تفاعلاً متسلسلاً يقود العصبون إلى إرسال نبضة للدماغ. إننا نستخدم أنواعاً مختلفة لنرى بالأبيض والأسود وبالألوان. تماماً كطابعات الحبر، التي تحتاج إلى ثلاثة أو أربعة ألوان في العلبة الملونة، نحتاج إلى ثلاثة جزيئات جامعة للضوء لنرى بالألوان. أما بالنسبة للإبصار بالأبيض والأسود فإننا نحتاج إلى واحد فقط.

هذه الجزيئات الجامعة للضوء تغير شكلها في الضوء، ثم تعيد شحن نفسها في الظلام، وتعود إلى حالتها الطبيعية. تأخذ العملية بضع دقائق. ونحن نعرف هذا كله من خبراتنا الشخصية تقريباً: إذا انتقلت من مكان مضيء إلى غرفة معتمة، سيكون من المستحيل رؤية الأشياء الباهتة. والسبب في ذلك هو أن الجزيئات الجامعة للضوء تحتاج إلى وقت؛ ليتم إعادة شحنها. بعد بضع دقائق، تعود إلينا القدرة على الرؤية في الظلام.

وعلى الرغم من التنوع المذهل للأعضاء المستقبلة للضوء، فإن كل حيوان يستخدم النوع نفسه من جزيئات التقاط الضوء للقيام بهذه المهمة. إن الحشرات، والبشر، والمحار، والاسكالوب (المحار الصدفي) جميعاً تستخدم الأوبسينات. ولا نتمكن من تتبع تاريخ العيون عبر الاختلافات في تركيب أوبسيناتها وحسب، إنما لدينا أيضاً دليل جيد على أنه بإمكاننا أن نشكر البكتيريا على هذه الجزيئات في المقام الأول.

الأوبسين هو نوع من الجزيئات التي تحول المعلومات من خارج الخلية إلى داخلها. وللقيام بهذه العملية، فهي تحتاج إلى حمل مادة كيمائية عبر الغشاء الذي يحيط بالخلية. تستخدم الأوبسينات نوعاً خاصاً من الموصلات، التي تتخذ سلسلة من الانثناءات والحلقات، بينما ترتحل من خارج الخلية إلى داخلها. ولكن هذا المسار الملتوي، الذي يسلكه المستقبل عبر غشاء الخلية ليس عشوائياً. إن له توقيعاً مميزاً. أين يمكن أن نرى مثل هذا المسار الملتوي؟ إنه مطابق لأجزاء من جزيئات معينة لدى البكتيريا. إن التشابه الجزيئي الدقيق في هذا الجزيء يدل على خاصية قديمة جداً لجميع الحيوانات، التي تمتد على طول الطريق في تاريخنا المشترك مع البكتيريا. وبشكل ما، فإن أجزاءً معدلة من البكتيريا تكمن داخل شبكياتنا؛ لتساعدنا على الرؤية.

يمكننا حتى أن نتتبع بعض الأحداث الرئيسية في التاريخ لأعيننا بفحص الأوبسينات في الحيوانات المختلفة. لنأخذ أحد الأحداث المهمة في ماضينا كرئيسيات (Primates)، تطور الرؤية بالألوان. لنتذكر أن البشر وأقرباءنا السعادين، قردة العالم القديم، لها نوع مفصل من الرؤية الملونة التي تعتمد على ثلاثة أنواع من مستقبلات الضوء. كل واحدة من هذه المستقبلات معدة لنوع معين من الضوء. معظم الثدييات الأخرى لديها نوعان من المستقبلات فقط، ولذلك فهي لا يمكنها أن تميز الألوان بالقدْر الذي نفعله نحن. يتضح أن بإمكاننا تتبع أصول رؤيتنا بالألوان بالنظر إلى الجينات التي تقوم بإنتاج المستقبلات. إن نوعي المستقبلات، التي تمتلكها معظم الثدييات يتم صناعتها بنوعين

من الجينات. أما جيناتنا الثلاثة، التي تنتج المستقبلات، فمنها اثنان مشابهان لتلك الموجودة في باقي الثدييات إلى حد بعيد. ويبدو أن هذا يحتم أن رؤيتنا للألوان بدأت عندما تضاعف أحد الجينات في الثدييات الأخرى، وتخصصت النسخ على مر الزمن، لتتعامل مع مصادر أخرى للضوء. وكما ستتذكر، فإن الأمر نفسه حدث مع جينات مستقبلات الرائحة.

هذا التحول يمكن أن يعزا لتغيرات الغطاء النباتي للأرض قبل ملايين السنين. قد يساعدنا هنا بالشيء، الذي كانت الرؤية مناسبه له عندما ظهرت له للمرة الأولى. إن القردة، التي تعيش في الأشجار ستستفيد؛ لأن رؤية الألوان تمكنها من التمييز بشكل أفضل بين العديد من أنواع الفاكهة والأوراق واختيار المغذية بشكل أكبر من بينها. من دراستنا للرئيسيات الأخرى، التي لديها رؤية بالألوان، يمكننا تقدير أن نوع الرؤية، الذي لدينا الآن نشأ قبل حوالي 55 مليون سنة. في هذا الوقت، وجدنا أدلة من مستحاثات للتغييرات، التي طرأت على تكوين الغابات القديمة. فقبل هذا الوقت، كانت الغابات غنية بالتين والنخيل، وهي ذات مذاق جيد ولكن لها جميعاً اللون ذاته. أصبحت الغابات فيما بعد ذات تنوع أكثر، وغالبا بألوان مختلفة. ويبدو من الجيد التفكير أن الانتقال إلى الرؤية بالألوان مرتبطة بالانتقال من غابة أحادية اللون، إلى غابة بألوان غنية أكثر بالأطعمة.

الأنسجة

تأتي أعين الحيوان بشكلين، إحدهما نراها في اللافقاريات، والأخرى في الفقاريات، كالأسماك والإنسان. إن الفكرة الجوهرية هي أن هناك طريقتين؛ لزيادة مساحة السطح الجامعة للضوء في أنسجة العين. تحقق اللافقاريات كالأسماك والديدان هذا بوجود طيات عديدة في الأنسجة، بينما يتم توسيع مساحة السطح في بطانة أعيننا بوجود العديد من البروزات الصغيرة، التي تمتد من النسيج كأهداب دقيقة. هناك عدد كبير من الاختلافات المتعلقة بهذه التصاميم المختلفة أيضاً. إن عدم وجود مستحاثات في المرحلة ذات الصلة من التاريخ معناه، أننا قد لا نتمكن أبداً من تجسير الاختلافات بين أعيننا وأعين اللافقاريات. وظلت الحال كذلك حتى عام 2001، حين فكر ديتليف أرينت (Detlev Arendt) بدراسة أعين دودة صغيرة بدائية جداً.

تعتبر الشوكيات (Polychaetes) إحدى أكثر الديدان الحية المعروفة بدائية. ولها مخطط جسدي مجزأ بسيط جداً، كما أن لديها نوعين من الأعضاء الحساسة للضوء: عين، وعضو مدفون تحت الجلد عبارة عن جزء من جهازها العصبي متخصص لالتقاط الضوء. أخذ أرينت هذه الديدان من ناحيتين، جسدية وجينية. إن معرفة التسلسل الجيني لجينات الأوبسين، وتركيب الأعصاب الجامعة للضوء لدينا، قدمت لأرينت الأدوات المناسبة لدراسة كيفية نشوء الشوكيات. لقد وجد أنّ لديها عناصر من كلا نوعي المستقبلات، التي لدى الحيوانات. فالعين الحقيقية

مكونة من مستقبلات عصبية وأوبسين شبيهة بعين اللافقاريات. المستقبلات الضوئية الدقيقة تحت الجلد كانت أمراً مختلفاً تماماً. لقد كانت تحتوي على أوبسينات الفقاريات، وتراكيب خليوية تحتوي حتى على بروزات تشبه الهدبات، لكن بشكل بدائي.

لقد وجد أرينت جسراً حياً، حيواناً لديه نوعا العيون، أحدهما من نوعنا موجود بشكل بدائي. عندما ننظر إلى اللافقاريات البدائية، نجد الأنواع المختلفة من عيون الحيوانات تتشارك بأجزاء فيما بينها.

الجينات

يقود اكتشاف أرينت إلى سؤال آخر. أدركنا أن الأعين تشترك بأجزاء محددة، ولكن كيف للأعين، التي تبدو مختلفة - كتلك الموجودة في الديدان، والذباب، والفئران - أن تكون متقاربة جداً؟ للإجابة عن هذا السؤال دعنا نبحث في الوصفة الجينية، التي تبني العيون.

كانت ميلدريد هوغ (Mildred Hoge) في مطلع القرن العشرين، تسجل الطفرات في ذبابة الفاكهة عندما وجدت ذبابة ليس لديها أعين قط. لم تكن هذه الذبابة الشاذة حالة وحيدة، فقد اكتشفت هوغ أن بإمكانها أن تنتج خطاً كاملاً من هذه الذبابات، التي سمتها بعديمة العيون (Eyeless). اكتشفت طفرة مشابهة لاحقاً في الفئران. بعض الفئران كان لديها أعين صغيرة، بينما افتقرت أخرى لأجزاء كاملة من الرأس والوجه، بما في ذلك أعينها. وهناك حالة مشابهة لدى البشر

معروفة باسم انعدام القزحية (Aniridia)، حيث لا يكون لدى الأفراد المصابين أجزاء كبيرة من أعينهم. كان علماء الجينات يجدون أنواعاً مشابهة من الشواذ في هذه المخلوقات المختلفة – الذباب، الفئران، والبشر.

وقد جاء الاكتشاف المذهل في أوائل التسعينيات من القرن العشرين، عندما طبقت المختبرات تقنيات جزيئية جديدة؛ لفهم كيفية تأثير شذوذ انعدام العين على تطور العين. فبعمل خرائط الجينات، استطاعوا تحديد أجزاء الحمض النووي المسؤولة عن الطفرات. عندما تم عمل تسلسل للحمض النووي، اتضح أن جينات كل من الذبابة، والفأر، والإنسان المسؤولة عن انعدام العين، ذات تركيب وتسلسل متماثل للحمض النووي. وبمنطق واقعي، يمكن القول إنها جميعاً الجين نفسه.

ماذا تعلمنا من هذا؟ لقد حدد العلماء الجين، الذي عندما يتعرض لطفرة، ينتج مخلوقات بأعين صغيرة، أو دون أعين. لقد عنى ذلك أن النسخة الطبيعية من الجين كانت محفزاً رئيسياً لتكوين العيون. والآن أصبحت الفرصة سانحة لإجراء التجارب، وطرح نوع مختلف تماماً من الأسئلة. ماذا يحدث لو عبثنا بالجين تنشيطاً وتثبيطاً في أماكن خطأ؟

لقد كان الذباب الهدف المثالي لمثل هذا العمل. فخلال الثمانينيات من القرن العشرين، تم تطوير عدد من الأدوات الجينية القوية جداً خلال العمل على الذباب. إذا عرفت جيناً، أو سلسلة حمض نووي، يمكنك أن تنتج ذبابة يعوزها ذلك الجين، أو العكس، ذبابة ينشط فيها ذلك الجين في أماكن خطأ.

باستخدام هذه الأدوات، بدأ والتر غهرنغ (Walter Gehring) بالعبث بجين انعدام العيون. لقد كان فريق غهرنغ قادراً على تنشيط الحمض النووي المسؤول عن انعدام العيون في كل مكان أرادوه تقريباً: في الهوائي، على الأرجل، أو على الأجنحة. عندما قام فريقه بذلك، وجدوا أمراً مذهلاً. لقد وجدوا أنهم إذا نشطوا جين انعدام العين في الهوائي، فإن عيناً ستنمو هناك. وكلما نشطوا الجين في مكان ما، كانوا يحصلون على عين جديدة. والأفضل من ذلك كله أن بعض الأعين النامية في أماكن خطأ، أظهرت قدرات أولية للاستجابة للضوء. لقد كشف غهرنغ عن محفز رئيسي في تكوين العين.

لم يتوقف غهرنغ هناك: لقد بدأ بتبديل الجينات بين أجناس مختلفة. لقد أخذوا مكافئ جين انعدام العين لدى الفأر، باكس 6 (Pax 6)، ونشّطوه في ذبابة. أنتج جين الفأر عيناً جديدة. ولم تكن أية عين إنما كانت عين ذبابة. لقد وجد مختبر غهرنغ أن بإمكانهم استخدام جين الفأر؛ لتنشيط إنتاج عين ذبابة إضافية في أي مكان: على الظهر، أو الجناح، أو جانب الفم. إن ما وجده غهرنغ هو مفتاح عام لتطور العين، وقد كان هذا المفتاح نفسه في الفأر، وفي الذبابة تقريباً. إن هذا الجين، باكس 6، قد نشط تفاعلاً متسلسلاً معقداً لنشاط الجين قاد في النهاية إلى عين ذبابة جديدة.

نعلم الآن أن جين انعدام العيون، أو باكس 6، يتحكم بالتطور في أي شيء لديه عيون. قد تبدو الأعين مختلفة – بعضها بعدسة، وأخرى

من غير؛ بعضها مركبة، وأخرى بسيطة - ولكن المفاتيح الجينية، التي تنتجها هي ذاتها.

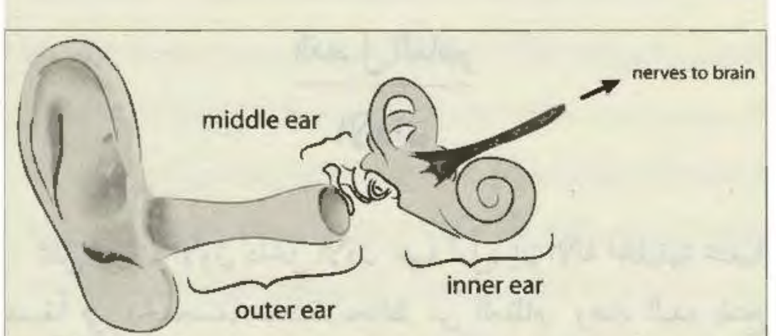
عندما تنظر في العيون– انسَ الرومانسية– والخلق، ونافذة الروح. مع جزيئاتها، وجيناتها وأنسجتها المشتقة من الميكروبات، وقناديل البحر، والديدان والذباب، فسوف ترى مجموعة كاملة من الوحوش.

الفصل العاشر

الآذان

تمثل النظرة الأول داخل الأذن خيبة أمل: إن الآلة الحقيقية مختفية عميقاً في الجمجمة، مغطاة بحائط من العظام. وعند البدء بفتح الجمجمة، وإزالة الدماغ، عليك أن تقوم قطعاً باستخدام إزميل؛ لإزالة ذلك الحائط. إذا كنت بارعاً حقاً، أو محظوظاً جداً، فسوف تقوم بضربها بشكل صحيح وتراها - أي الأذن الداخلية. إنها تشبه إلى حد بعيد قوقعة حلزون ملفوفة كالتي تجدها في التراب في المرج.

قد لا تبدو الأذن أمراً ذا أهمية، لكنها إبداع رائع ككتابات روبي غولدبيرغ (Rube Goldberg). وعندما نسمع، فإن الأمواج يتم تجميعها في الجزء الخارجي، أو الأذن الخارجية. تدخل الأمواج الصوتية إلى الأذن وتسبب اهتزاز طبلة الأذن (eardrum). طبلة الأذن متصلة بثلاث عظيمات صغيرة، تهتز معها. إحدى هذه العظمات متصلة بالقوقعة (الحلزونية) بشكل من المكابس. إن اهتزاز عظيمات السمع يسبب صعود، وهبوط هذا المكبس. فهذا الصعود، والهبوط يسبب تحريك الهلام الموجود داخل القوقعة. إن تحرك المادة الهلامية يؤدي إلى ثني الأعصاب، التي ترسل إشارة إلى الدماغ، والذي يقوم بدوره بتفسيرها صوتا. في المرة القادمة، التي تحضر فيها حفلاً موسيقياً، تخيل هذا كله يحدث داخل رأسك وحسب.



من الأجزاء الثلاثة للأذن – الخارجية، والوسطى والداخلية – تعد الأذن الداخلية هي الأقدم، والجزء الذي يتحكم بالسيالات العصبية التي ترسل إلى الدماغ.

إن هذا التركيب يسمح لنا بالتفريق بين ثلاثة أجزاء من الأذن: الخارجية، والوسطى، والداخلية. الأذن الخارجية هي الجزء المنظور. والوسطى تحتوي عظيمات السمع الصغيرة. وأخيراً، تحتوي الأذن الداخلية على الأعصاب، والهلام، والأنسجة، التي تحيط بها. إن هذه الأجزاء الثلاثة للأذن تمكننا من بناء حوارنا بشكل موثوق.

إن الجزء المنظور من الأذن، الصيوان، الذي نعلق عليه نظاراتنا، هو إضافة تطورية حديثة نسبياً لأجسامنا. يمكنك التأكد من ذلك في رحلتك التالية إلى المربى المائي (Aquarium)، أو حديقة الحيوان. كم من أسماك القرش، والأسماك ذات العظام، والبرمائيات، والزواحف لديها أذن خارجية؟ إن الصيوان – الزائدة الخارجية للأذن – موجودة لدى الثدييات فقط. وبعض البرمائيات والزواحف لديها آذان مرئية، لكن ليس لها صيوان. وغالباً ما تكون الأذن الخارجية عبارة عن غشاء يبدو كقمة طبلة الأذن.

إن روعة صلتنا بالقرش، والأسماك ذات العظام تتكشف عندما نلقي نظرة داخل أذننا. قد تبدو الأذن مكاناً غير محتمل للصلة بين البشر والقرش، خاصة أن القرش ليس لديه آذان. ولكن الصلة موجودة. ولنبدأ أولاً بعظيمات الأذن.

الأذن الوسطى – عظيمات الأذن الثلاث

إن للثديات خصوصية مميزة. فمع الشعر، والغدد المنتجة للحليب، يمكننا ببساطة تمييزها عن المخلوقات الأخرى. وقد يدهش العديد من معرفة أن بعض أكثر السمات المميزة للثدييات تقبع داخل الأذن. إن عظيمات الأذن الوسطى لدى الثدييات تختلف عن أي حيوان آخر، فللثديات ثلاث عظيمات، بينما الزواحف والبرمائيات لديها واحدة فقط. وليس للأسماك أية عظيمات. فمن أين جاءتنا عظيمات الأذن الوسطى؟

لنراجع بعض الأمور التشريحية: تذكر أن العظيمات السمعية الثلاث تعرف باسم المطرقة (Malleus) والسندان (Incus) والركاب (Stapes). وكما رأينا، فإن كل واحدة من هذه العظام مشتقة من الأقواس الخيشومية: فالركاب مأخوذة من القوس الخيشومية الأولى، والمطرقة والسندان من الثانية. وهنا تبدأ قصتنا.

كان عالم التشريح الألماني كارل ريتشيرت (Karl Reichert) في عام 1937،يبحث في أجنة الثدييات، والزواحف؛ لفهم كيفية تشكل

الجمجمة. لقد تتبع الأقواس الخيشومية لأجناس مختلفة؛ لفهم منتهاها في الجماجم المختلفة. وبينما كان يقوم بذلك مراراً وتكراراً، وجد أمراً محيراً: إن اثنتين من عظام الأذن في الثدييات تمثلان أجزاء من الفك في البرمائيات. لم يصدق ريتشيرت عينيه، وقد كشفت كتاباته عن مدى دهشته. ففي وصفه للمقارنة بين الأذن والفك، انصرفت كتابته عن الوصف الرزين للتشريح في القرن التاسع عشر؛ ليعكس صدمته، وحتى تعجبه، من هذا الاكتشاف. وكانت نتيجته الحتمية: أن أجزاء الأذن في الثدييات، هي نفسها أجزاء الفك في الزواحف. تصبح الأمور أكثر تعقيداً عندما ندرك أن ريتشيرت قد اقترح هذا قبل أن يعلن داروين نظريته حول شجرة الحياة بعقود. ما معنى أن تنعت تراكيب في جنسين مختلفين أنها «ذاتها» دون نظرية تطور؟

وبعد ذلك بفترة طويلة، في عامي 1910 و1912، تابع عالم التشريح الألماني إرنست غوب (Ernst Gaupp) أعمال ريتشرت ونشر دراسة مرهقة حول تطور الآذان في الأجنة. لقد وفر غوب تفصيلاً أكثر، وقدم– في ذلك الوقت– تفسيراً لعمل ريتشرت في إطار تطوري. وكانت الفكرة الرئيسية لغوب كالتالي: تكشف عظيمات الأذن الوسطى الثلاث العلاقة بين الزواحف والثدييات.

العظمة المفردة في الأذن الوسطى للزواحف هي نفسها الركاب في الثدييات، فكلاهما مأخوذتان من القوس الثانية. إن المعلومات، التي أحدثت ضجة هي: أن العظمتين الأخريين في الأذن الوسطى لدى الثدييات – المطرقة والسندان – قد نشأتا من عظام في مؤخرة فك

الزواحف. إن كانت هذه هي الحال حقاً، فإن سجل المستحاثات يجب أن يظهر عظاماً وسيطة في عملية الانتقال بين الفك والأذن خلال نشوء الثدييات. لقد كانت المشكلة هي أن غوب عمل على المخلوقات الحية فحسب، ولم يأخذ بعين الاعتبار الدور، الذي يمكن للمستحاثات أن تلعبه في هذه النظرية.

وفي الأربعينيات من القرن التاسع عشر، بدأت أنواع جديدة من المخلوقات المستحاثة تظهر بسبب الاكتشافات في جنوب أفريقيا وروسيا. وغالباً ما كانت تستخرج من الأرض هياكل كاملة بحجم الكلب محفوظة بشكل كبير. وبينما كان يتم اكتشافها، فإن العديد منها كانت توضع في أقفاص، وتشحن إلى ريتشارد أوين في لندن؛ لتحديد ماهيتها وتحليلها. وقد ذُهِلَ أوين فهذه المخلوقات لها سمات مختلفة، حيث ظهرت أجزاء من هياكلها العظمية كالزواحف، بينما بدت أجزاء أخرى- كالأسنان مثلاً- كالثدييات. ولم تكن هذه النتائج هي فقط ما توصل إليه، فقد اتضح أن هذه «الثدييات التي تشبه الزواحف» هي الهياكل العظمية الأكثر شيوعاً من بين ما يتم استخراجه في مواقع المستحاثات. ولم تكن الشائعة فحسب، وإنما كان لها أنواع كثيرة أيضاً. وفي السنوات التي تلت أوين، أصبحت هذه الكائنات الثديية الشبيهة بالزواحف معروفة في أماكن أخرى من العالم، ومن عدة عصور زمنية في تاريخ الأرض شكلت سلسلة انتقالية جميلة في السجل الأحفوري بين الزواحف والثدييات.

كان علماء الأجنة وعلماء المستحاثات حتى عام 1913، يعملون

بمعزل عن بعضهم. وفي هذا الوقت، رأى عالم المستحاثات الأمريكي و. ك. غريغوري (W.K. Gregory)– من المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي– علاقة مهمة بين أجنة غوب والمستحاثات الإفريقية. كان الحيوان الأقرب للزواحف من الثدييات الشبيهة بالزواحف لديه عظمة أذن واحدة في أذنه الوسطى فقط، كباقي الزواحف، وكان لديه فك مكون من عدة عظام. وقد تم الكشف عن أمر مهم جداً، بينما كان غريغوري يبحث في الثدييات الشبيهة بالزواحف الأقرب للثدييات، أمرٌ كان ليسعد ريتشيرت لو أنه كان حياً: سلسلة متصلة من الأشكال، التي تظهر دون أدنى شك أن العظام في مؤخرة فك الزواحف، قد أصبحت أصغر مع الزمن، وتراجعت حتى استقرت في النهاية في الأذن الوسطى للثدييات.

لقد نشأت عظمتا المطرقة والسندان فعلاً من عظام الفك. وما لاحظه ريتشرت وغوب في الأجنة، كان مدفوناً في السجل الأحفوري طيلة الوقت، منتظراً أن يتم اكتشافه وحسب. لَمَ تحتاج الثدييات إلى أذن بثلاث عظام؟ إن هذه العلاقة تشكل نظام رافعة يسمح للثدييات سماع ترددات أعلى من الصوت، مما تسمعه الحيوانات ذات عظمة الأذن الواحدة. لم يتضمن نشوء الثدييات نمطاً جديداً من المضغ فحسب– كما رأينا في الفصل الرابع– إنما طرقاً جديدة للسمع أيضاً. وفي الحقيقة، فإن هذا الانتقال لم يتم بنشوء عظام من العدم، وإنما بإعادة توجيه العظام الموجودة مسبقاً لأغراض أخرى. إن العظام، التي استخدمت في الأصل من قبل الزواحف للمضغ، قد تطورت في

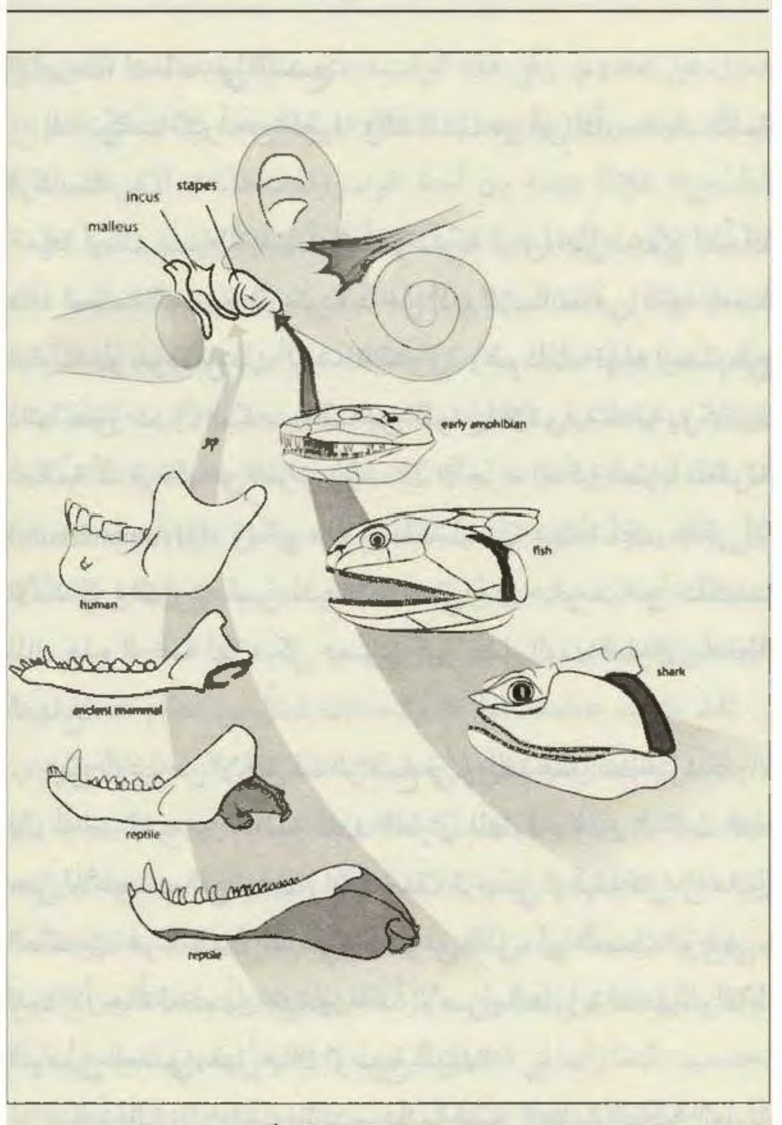
الثدييات؛ لتساعد في السمع.

لقد تكلمنا كثيراً عن المطرقة والسندان. من أين إذاً، جاءت عظمة الركاب؟

إذا أريتك ببساطة إنساناً بالغاً، وسمكة قرش، فلن تخمن أبداً أن هذه العظمة الصغيرة الموجودة داخل أذن الإنسان، هي ذاتها العصا الطويلة الموجودة في فك السمكة العلوي. رغم ذلك، فهذه العظام هي ذاتها تطورت. إن الركاب عظمة من القوس الخيشومية الثانية، وكذلك العظمة المناظرة لها في القرش والسمك الآخر - الفكية العلوية المعقوفة (Hyomandibula). ولكن هذه العظمة ليست عظمة أذن، تذكر أن الأسماك والقروش ليس لديها آذان. في أبناء عمومتنا من ساكنات الماء، هذه العظمة لها شكل عصوي كبير يصل الفك العلوي بحافظة الدماغ.

على الرغم من الاختلاف الواضح في وظيفة هذه العظام وشكلها، فإن أوجه الشبه بين عظمة الفك العلوي المعقوفة، وبين الركاب تمتد حتى للأعصاب التي تغذيها. إن العصب الرئيسي لوظيفة كل من هاتين العظمتين، هو العصب القوسي الخيشومي الثاني، أي العصب الوجهي. لدينا إذاً حالة لعظمتين مختلفتين جداً الأصول التطورية نفسها، وأنماط التوصيل العصبي. فهل هناك توضيح لذلك؟

لننظر ثانية إلى المستحاثات. عندما نتتبع العظمة الفكية العلوية المعقوفة في أسماك القرش وحتى مخلوقات كالتكتاليك ثم البرمائيات، يمكننا أن نرى أنها تأخذ بالصغر شيئاً فشيئاً، حتى ينتقل موضعها في



يمكننا تتبع العظام من الأقواس الخيشومية إلى آذاننا، أولاً خلال التحول من الأسماك إلى البرمائيات (يمين)، ولاحقاً خلال التحول من الزواحف إلى الثدييات (يسار).

النهاية من الفك العلوي؛ لتؤدي دوراً في السمع. إن اسمها يتغير أيضاً. فعندما تكون كبيرة وتدعم الفك، نسميها العظمة الفكية العلوية المعقوفة، وعندما تكون صغيرة وتعمل للسمع، نسميها بالركاب. إن هذا الانتقال حدث عندما بدأت أجيال من السمك بالمشي على اليابسة. إن السمع في الماء مختلف عنه على اليابسة. والحجم الصغير للركاب، وموضعها يجعلها مثالية؛ لالتقاط الاهتزازات في الهواء. لقد جاءت هذه القدرة الجديدة بتعديل العظمة الفكية العلوية في الأسماك.

تحتوي أذننا الوسطى على سجل لتحولين عظيمين في تاريخ الحياة. أصل الركاب وتحوله من عظمة داعمة للفك إلى عظيمة سمعية في الأذن، بدأت عندما طفقت الأسماك تمشي على اليابسة. والحدث الكبير الآخر تم خلال نشوء الثدييات، عندما تحورت عظام الفك الخلفية للزواحف؛ لتصبح عظام المطرقة والسندان لدينا.

لندخل الآن أعمق في دهاليز الأذن – الأذن الداخلية.

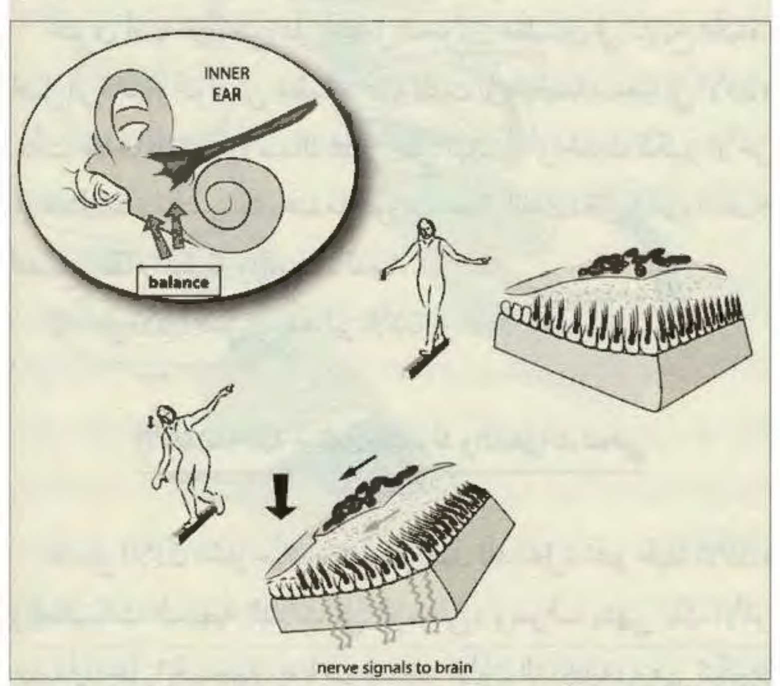
الأذن الداخلية – الهلام يتحرك والشعيرات تنحني

ادخل للأذن الخارجية، وتابع طريقك للداخل، اعبر طبلة الأذن، والعظيمات السبعية الثلاث في الوسطى، وسوف ينتهي بك الأمر عميقاً داخل الجمجمة. هنا سوف تجد الأذن الداخلية، وهي تتكون من أنابيب وبعض الأكياس المملوءة بالهلام، تتخذ الأنابيب العظمية في البشر– كما هي الحال في باقي الثدييات– شكل القوقعة، التي

تكون واضحة جداً في مختبر التشريح.

للأذن الداخلية عدة أجزاء كل واحد منها مكرس لأداء وظيفة مختلفة. أحد الأجزاء يستخدم للسمع، وآخر يخبرنا باتجاه ميلان رأسنا، وهناك واحد آخر أيضاً يسجل تسارع رأسنا، أو توقفه عن الحركة. ولأداء هذه المهام المختلفة؛ تعمل الأذن الداخلية بالآلية نفسها تقريباً.

إن الأجزاء العديدة من أذننا الداخلية مملوءة بمادة هلامية يمكن أن تتحرك. ترسل الخلايا العصبية المتخصصة زوائد هدبية كالشعر في



في كل مرة تميل بها رأسك، سوف تقوم الحصيات الدقيقة على الأكياس المملوءة بالسوائل بالتحرك. وبذلك، فهي تثني نهايات الأعصاب داخل الكييسات مسببةً سيالاً عصبياً يرسل إلى دماغك؛ ليخبره أن رأسك مائل.

هذا الهلام. عندما يتحرك الهلام، فإن الشعرات على نهايات الخلايا العصبية ستنثني. وبانثنائها، ترسل الخلايا العصبية نبضات كهربائية إلى الدماغ، الذي يسجلها أصواتاً، أو موضعاً، أو تسارعاً.

لتصور التركيب، الذي يخبرنا عن مكان رأسنا في الفراغ، تخيل الكرة الثلجية، التي تحتوي على تمثال الحرية. تصنع الكرة الثلجية من البلاستيك المملوء بالهلام. عندما تقوم بهزها، فإن الهلام يتحرك ويسقط «الثلج» على تمثال الحرية. تخيل الآن، لو أن هذه الكرة مصنوعة من غشاء مرن. قم بالتقاطه وأمله، سوف يميل كل ما فيه لتلك الجهة، مسبباً انزياح الهلام داخله بالاتجاه نفسه. هذا- بمقياس أصغر بكثير- ما يوجد تماماً داخل أذننا. عندما تقوم بحني رأسك، فإن هذه التراكيب تنقلب، مسببة السلسلة الاعتيادية من الأحداث: يميل الهلام في الداخل، وتنثني الزوائد الشعرية على الأعصاب، ويتم إرسال إشارة عصبية إلى الدماغ.

وجود هذا النظام كله في داخلنا، جعله أكثر حساسية بوجود تراكيب كالصخور (حصيات صغيرة) على الأغشية. عندما نميل رأسنا، فإن هذه الحصيات تبرز انقلاب الغشاء، مؤثرة بالكل؛ لكي يتحرك بشكل أكبر. يزيد هذا من حساسية النظام، مما يمكننا من إدراك الاختلافات الصغيرة جداً في موضع الرأس. إذا أملت رأسك، فإن صخوراً صغيرة سوف تتدحرج داخل جمجمتك.

يمكنك أن تتخيل كم سيكون صعباً العيش في الفضاء الخارجي. إن مجساتنا مصممة؛ لتعمل في الجاذبية الأرضية، وليس في الكبسولة

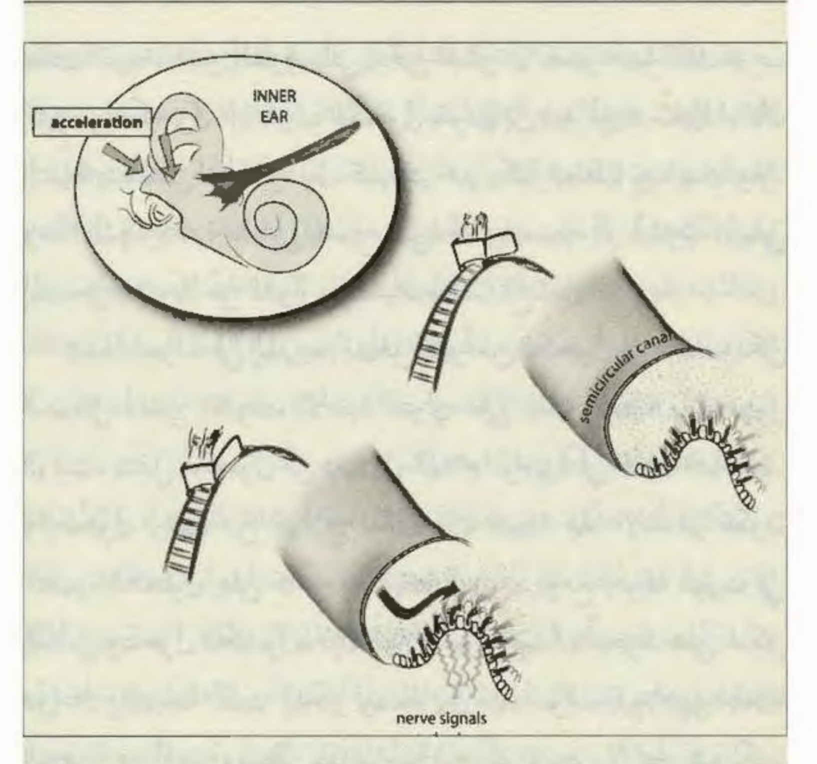
الفضائية، التي لا جاذبية فيها. بالعوم، تسجل أعيننا نسخة جديدة من الأعلى والأسفل، وتتشوش مجسات آذاننا تماماً، ومن السهل مع هذا كله الشعور بالغثيان. إن غثيان الفضاء يعد مشكلة حقيقية لهذه الأسباب.

إن الطريقة، التي ندرك بها التسارع مبنية على جزء آخر من الأذن الداخلية أيضاً، متصل بالجزأين السابقين. هناك ثلاث قنوات مملوءة بالهلام داخل الأذن، في كل مرة نتسارع بها، أو نتوقف، يتحرك الهلام داخل هذه الأنابيب، مسبباً انثناء الخلايا العصبية، وتحفيز تيار عصبي.

إن النظام، الذي نستخدمه؛ لإدراك الوضعية، والتسارع كله متصل بعضلات أعيننا. يتم التحكم بحركة أعيننا بثماني عضلات صغيرة متصلة بالجدران الجانبية لمقلة العين. تنقبض العضلات؛ لتحرك العين إلى الأعلى والأسفل، واليسار واليمين. ويمكننا أن نحرك أعيننا إرادياً بقبض هذه العضلات في كل مرة نقرر أن ننظر باتجاه جديد: ولكن بعض الخصائص المذهلة لهذه العضلات متصلة بفعلها اللاإرادي. فهي تحرك أعيننا طيلة الوقت، حتى دون أن نفكر بذلك.

ومن أجل إدراك حساسية الصلة بين العين والعضلات المحركة لها، حرك رأسك للخلف، وللأمام بينما تستمر في النظر إلى هذه الصفحة. أبقِ عينيك مثبتتين على مكان واحد، وأنت تحرك رأسك.

ما الذي حدث في أثناء هذه التجربة؟ بقيت عيناك مثبتتان على نقطة واحدة، بينما كان رأسك يتحرك. إن هذه الحركة شائعة؛ لذلك نسلم بها، لكنها معقدة بشكل لا يوصف. إن كل واحدة من العضلات الثماني في كلا عينيك، تستجيب لكل حركات الرأس. إن المجسات في



في كل مرة نتسارع بها، يتحرك السائل في الأذن الداخلية. تتحول هذه الحركة إلى سيال عصبي يتم إرساله إلى الدماغ.

رأسك، التي سوف أصفها في الجزء التالي– تسجل اتجاه حركة رأسك وسرعته. يتم حمل هذه الإشارات إلى الدماغ، الذي يرسل إشارات تخبر عضلات العين أن عليها التحرك. فكر بالمرة التالية، التي تركز فيها نظرك بينما يتحرك رأسك. إن هذا النظام يمكن أن يخطئ. وهذه الأخطاء يمكن أن تخبرنا كثيراً عن سلامتنا بشكل عام.

ومن الطرق السهلة؛ لفهم صلة الأذن الداخلية بالعين، هي التدخل

بتلك الصلة. فمن الطرق التي يمكن للبشر أن يفعلوا بها ذلك شرب كثير من الكحول. إن شرب الكحول يقودنا إلى فعل أشياء سخيفة؛ لأن التثبيط ينخفض لدينا. وشرب كميات أكبر بكثير يجعلنا نصاب بدوار. وهذا الدوار عادة ما ينبئ بصباح سيء قادم، بسبب أثر الشرب المتبقي المصحوب بمزيد من الدوار، والغثيان والصداع.

عندما نسرف في الشرب، ندخل كثيراً من الكحول إلى دمنا، ولكن السوائل داخل القنوات الأذنية تحتوي على القليل فقط، ومع مرور الوقت، ينتقل الكحول من دمنا إلى الهلام الموجود في الأذن الداخلية. والكحول أخف من الهلام؛ لذلك فإن نتيجة هذا الانتشار تكون كصب الكحول على كأس من زيت الزيتون. ومع حركة الزيت في الكأس ودخول الكحول، فإن الهلام سوف يبدأ بالتحرك على شكل دوامة. والنتيجة تجلب الدمار للمتطرفين منا. سوف يتم تحفيز الخلايا الشعرية في أذننا، وسيظن دماغنا أننا نتحرك. ونحن لا نتحرك، لكننا ملقون في زاوية، أو منحنون على كرسي البار. لقد خدع دماغنا.

إن هذه المشكلة تمتد لتطال أعيننا. سيعتقد دماغنا أننا ندور، وسوف يمرر المعلومات إلى عضلات أعيننا. تنتفض أعيننا في اتجاه واحد (عادة إلى اليمين)، بينما نحاول أن نتتبع شيئاً يتحرك من جانب لآخر. إذا حاولت أن تفتح عيني شخص أسرف بالشرب، قد ترى هذه الانتفاضات النمطية، والتي تسمى بتذبذب المقلتين (Nystagmus). يعرف رجال الشرطة ذلك أيضاً، وغالباً ما يبحثون عن هذا التذبذب لدى الناس الذين يوقفونهم بسبب القيادة الشاذة.

إن تبعات الشرب الهائلة المتبقية في اليوم التالي، تتضمن استجابة مختلفة قليلاً. ففي اليوم التالي للسكر، يكون الكبد قد قام بمهمة مدهشة الفعالية وهي إزالة الكحول من دمك. إن هذا لأمر فعال جداً، إذ تبقى الكحول موجودة في الأنابيب. وتنتقل ثانية من الهلام إلى الدم، وبذلك، يقوم بتحريك الهلام، ليبدأ الدوار ثانية. خذ المسرف نفسه في الشرب، الذي رأيت عينيه تتذبذبان إلى اليمين في الليلة السابقة، وانظر إليه خلال فترة أعراض الانسحاب الصباحية. سوف ترى أن عينيه لا تزالان تتذبذبان، لكن باتجاه معاكس.

يمكننا أن نفكر بتاريخنا المشترك مع أسماك القرش، والأسماك الاخرى؛ لهذا إذا حاولت مرة إمساك سمكة سلمون (Trout) مرقط، فربما رأيت عضواً غالباً ما يكون سلفاً لأذنك الداخلية. كما يعرف كل الصيادين، يتوقف السلمون المرقط في أماكن معينة فقط من الجدول، وعادة في أماكن، حيث يمكنه الحصول على أفضل وجبة بينما يتجنب المفترسات. غالباً ما تكون هذه الأماكن في الظل، وفي دوامات تيارات الجداول. الأماكن الأفضل للأسماك الكبيرة؛ لكي تتوقف هي خلف الصخور، أو جذوع الأشجار الساقطة. والسلمون المرقط، ككل الأسماك الأخرى، لديه آلية تسمح له بالإحساس بتيار وحركة المياه حولها، كحاسة اللمس تقريباً.

تجد عضيات صغيرة مع مستقبلات حسية مصفوفة كخط واحد على طول الجسد والرأس، ضمن جلد الأسماك وعظامها. هذه المستقبلات تقبع في حزم صغيرة ترسل منها زوائد شعرية إلى أكياس ملأى بالهلام.

يسمى عضو الغدد العصبية (Neuromast). فمن المفيد تخيل كرة الثلج، التي تحتوي على تمثال الحرية ثانية. إن عضو الغدد العصبية هذا يشبه كرة ثلج صغيرة، مع امتدادات عصبية داخله. عندما يتحرك الماء حول السمكة، فإنه يقوم بتحوير شكل هذا الكيس، وبذلك يحني الزوائد الشعرية للعصب. تماماً كالنظام الموجود في أذنينا، يرسل هذا الجهاز إشارة إلى الدماغ، ويعطي للسمكة حساً بحركة الماء حولها. يمكن للأسماك وأسماك القرش تحديداً أن تشعر باتجاه تدفق الماء، وبعض أنواع القرش يمكنها أيضاً أن تشعر بأية اضطرابات مائية، كتلك، التي تنتج من سباحة سمكة جانبها. لقد استخدمنا نظاماً كهذا عندما حركنا رأسنا مع تثبيت نظرتنا، ورأينا أنه يختل عندما فتحنا أعين رجل ثمل في بداية هذا الجزء. لو كان السلف المشترك مع القروش والأسماك قد استخدم نوعاً آخر من هلام الأذن الداخلية، لنقل نوعاً لا يدور بدوامة عند إضافة الكحول إليه، لما كنا شعرنا بالدوار عندما نثمل.

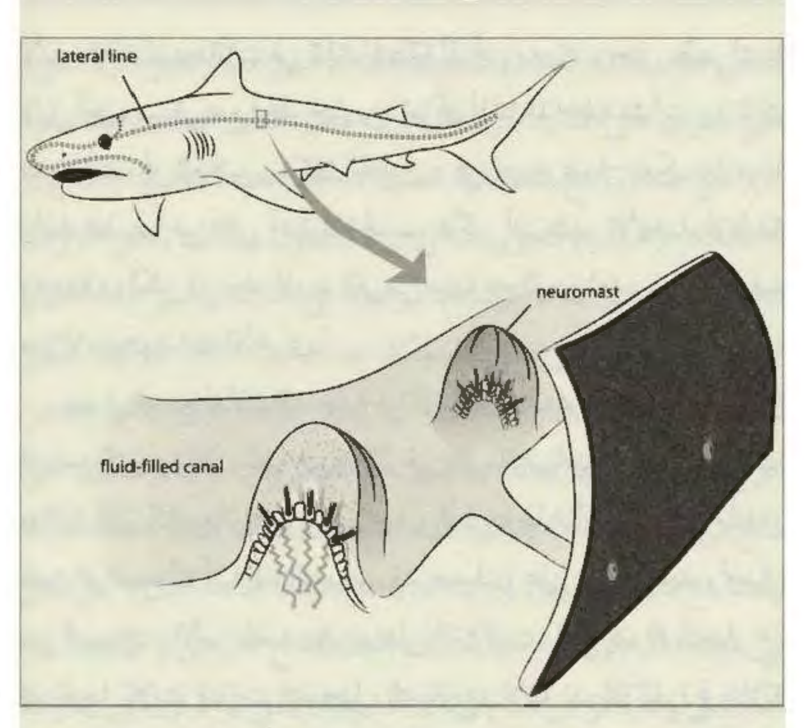
إذا نظرت لأذننا الداخلية، وأعضاء الغدد العصبية على أنها نسخ لشيء مشترك، فأنت لست بمخطئ. فكلاهما يأتيان من نوع النسيج ذاته أثناء التطور، وهما يشتركان بتركيب متشابه. ولكن أيهما جاء أولاً: عضو الغدد العصبية، أم الأذن الداخلية؟ هنا يصبح الدليل تخطيطياً. إذا ألقيت نظرة على بعض أوائل المستحاثات القديمة ذات الرؤوس، أي مخلوقات عاشت قبل حوالي 500 مليون سنة، ستجد ثقوباً صغيرة في دروعها الخارجية تدل على أنه كان لديها عضيات غدد عصبية. لسوء الحظ، نحن لا نعلم كثيراً عن الأذن الداخلية لهذه المخلوقات؛

لأن حفظ المستحاثات في تلك المنطقة للرأس معوز. وحتى يظهر لدينا دليل آخر، سنبقى مع أحد خيارين: إما أن أذننا الداخلية نشأت من تلك العضيات، أو العكس. وكلا الحالتين- في جوهرهما- تعكسان مبدأ رأيناه تطبيقياً في باقي أعضاء الجسم. يمكن أن تظهر الأعضاء لوظيفة واحدة، ولكن قد يعاد تحديد الغرض منها مع الزمن لعدد غير معروف من الاستخدامات الأخرى.

حصل توسع للأذن الداخلية في أذننا نحن البشر، فالجزء المخصص للسمع كبير وملتف كما هي الحال في باقي الثدييات. ولدى مخلوقات بدائية أكثر كالبرمائيات، والزواحف أذن داخلية أبسط وغير ملتفة. فمن الواضح أن أسلافنا الثدييات قد حصلت على نوع جديد وأفضل من السمع. والأمر نفسه يجري على التراكيب، التي تدرك التسارع. إن لدينا ثلاث قنوات لتسجيل التسارع؛ لأننا ندرك الفراغ بثلاثة أبعاد. الأسماك الأولى المعروفة بهذه القنوات هي أسماك بلا فكوك، كالسمكة العرّافة، أو ما يسمى بسمكة الشيطان (Hagfish)، التي لديها قناة واحدة فقط. ثم في الأسماك البدائية الأخرى، نرى اثنتين. وأخيراً في الأسماك الأكثر حداثة، وغيرها من الفقاريات، لديها ثلاث قنوات مثلنا.

لقد رأينا أن أُذننا الداخلية لها تاريخ يمكن تتبعه إلى الأسماك البدائية الأولى. ومن الجدير بالذكر، أن العصب الموجود داخل الهلام في أذنينا له تاريخ أقدم من ذلك حتى.

إن هذه الأعصاب، التي تسمى الخلايا الشَعرية، لها سمات خاصة لا



نسخة بدائية من جزء من أذننا الداخلية مطمور في جلد الأسماك. كييسات صغيرة - الغدد العصبية - موزعة حول الجسم. عندما تنحني، فإنها تعطي للأسماك معلومات حول كيفية تغير تدفق المياه.

يمكن أن نراها في أعصاب أخرى. مع زوائد دقيقة تشبه الشَّعر، تتكون من شعرة واحدة طويلة، وسلسلة من الشعرات الأقصر، تتموضع هذه العصبونات باتجاه ثابت في أذننا الداخلية، وفي عضو الغدة العصبية لدى الأسماك. وقد بحث الناس حديثاً عن هذه الأنواع من الخلايا في مخلوقات أخرى، وقد وجدوها ليس فقط في حيوانات ليس لديها أعضاء مثلنا أبداً، وإنما أيضاً في حيوانات ليس لديها رؤوس. لقد رأوها

في مخلوقات كالسهيم، الذي التقيناه في الفصل الخامس، الذي لا أذن له، ولا أعين ولا حتى رأس أو جمجمة. إذاً، هذه الخلايا الشعرية كانت موجودة، وتقوم بوظائفها قبل حتى أن تظهر أعضاؤنا الحسية.

إن هذا كله مسجل في جيناتنا، طبعاً. فإذا أصابت طفرة لدى إنسان، أو فأر جيناً يسمى باكس 2 (Pax2)، فإن الأُذن الداخلية لن تتشكل بشكل صحيح. إن جين باكس 2 نشط في منطقة الأذن، ويبدو أنه يبدأ تفاعلاً متسلسلاً من النشاط الجيني المسؤول عن تطور الأذن الداخلية. فإذا بحثنا عن هذا الجين في حيوانات أكثر بدائية سنجد أنه نشط في الرأس، ومن المثير للعجب، أننا سنجده موجوداً في عضو الغدد العصبية أيضاً. إن الثَّمل، الذي يشعر بالدوار، وأعضاء الإحساس بالماء في الأسماك، لها جينات مشتركة: وهذا دليل على تاريخ مشترك.

قنديل البحر وأصول العيون والآذان

تماماً كما هي الحال مع الجين باكس 6، الذي اكتشفناه سابقاً وله علاقة بالعيون، فإن باكس 2 في الأذنين هو الجين الرئيسي، والضروري للتطور السليم. ومن المثير للدهشة، أن هناك صلة بين الجينين باكس 2 وباكس 6، تقترح أن الأذن والعين ربما كانتا تشتركان بتاريخ قديم جداً.

وهنا تدخُل قناديل البحر الصندوقية إلى قصتنا. قناديل البحر هذه معروفة للسباحين في أستراليا بسبب سميّتها، وهي تختلف عن باقي أنواع قنديل البحر؛ لأن لديها، أكثر من عشرين عيناً. معظم هذه الأعين

عبارة عن ثقوب بسيطة تنتشر على بشرة قنديل البحر. والعيون الأخرى على الجسد مشابهة لعيوننا بشكل مذهل، مع شكل من القرنية، وحتى تراكيب عصبية كالموجودة لدينا.

ليس لدى قناديل البحر جينات باكس 6، أو باكس 2: فقد نشأت قبل أن تخلق هذه الجينات. ولكن في جينات قنديل البحر الصندوقي، نرى أمراً مذهلاً. الجين الذي يشكل الأعين ليس باكس 6– كما نتوقع– بل نوع من الفسيفساء، التي لها تركيب كل من جيني باكس 6 وباكس 2. أي أن هذا الجين يبدو كنسخة بدائية من جينات باكس 6 وباكس 2 الموجودة لدى الحيوانات.

إن الجينات الرئيسية، التي تتحكم بأعيننا وآذاننا، تمثل جيناً واحداً في المخلوقات البدائية كقنديل البحر. ربما تفكر، وماذا يعني ذلك؟ إن الصلة القديمة بين جينات الأذن والعين، تساعدنا في فهم أشياء نراها في عيادات المستشفى هذه الأيام: عدد من تشوهات الولادة تؤثر على كل من العين والأذن. وهذه كلها انعكاس لصلتنا العميقة بمخلوقات بدائية كقنديل البحر اللاسع.

الفصل الحادي عشر

معنى هذا كله

حديقة الحيوان داخلك

إن دخولي المهني في البيئة الأكاديمية قد تم في أوائل الثمانينيات من القرن المنصرم، خلال سنواتي الجامعية، عندما تطوعت في المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي في مدينة نيويورك بعيداً عن الإثارة في العمل خلف الكواليس في مجموعات المتحف، كانت إحدى أكثر الخبرات انطباعاً بذاكرتي هي حضور ندواتهم الأسبوعية الجشة. كان يأتي كل أسبوع متحدث؛ ليقدم دراسة سرية ما حول التاريخ الطبيعي. وبعد الندوة- التي غالباً ما كانت ذات طابع مغلق- كان المستمعون يناقشون الموضوع نقطة نقطة. لم يكن ذلك أمراً رحيماً. وأحياناً، كان الأمر كله يبدو كحفلة شواء بشرية، بحيث يكون المتحدث المدعو هو الطبق الرئيسي المحمّر. وفي كثير من الأحيان، كانت هذه الجدالات تتحول إلى جلسات صياح مليئة بالغضب، والاحتقان، والإيماءات الأوبرالية لفيلم قديم صامت، إلى جانب القبضات المهتزة والأقدام الضاربة على الأرض.

وهنا كنت- في القاعات الأكاديمية المبجلّة- أستمع للندوات

حول التصنيف. تعرفون التصنيف – علم تسمية الأجناس وتنظيمها في مخطط تصنيفي نحفظه في مساق مقدمة علم الأحياء. لا يمكنني أن أتخيل موضوعاً أكثر صلة بحياتنا اليومية، ناهيك عن موضوع ليس من المحتمل أن يقود علماء كباراً ومشاهيرَ إلى الإصابة بالسكتات الدماغية، وفقدان كثير من كرامتهم. إن فرضية «عش حياتك» لا يمكن أن تكون ملائمة هنا. ومن السخرية أنني الآن أرى لِمَ كانوا مشغولين جداً هكذا. لم أدرك الأمر في ذلك الوقت، ولكنهم كانوا يتجادلون حول أحد أهم المفاهيم في علم الأحياء كله. وقد لا يبدو الأمر نهاية الحياة، لكنه يكمن في أصول كيفية مقارنتنا للمخلوقات المختلفة – إنسانٌ مع سمكة، أو سمكةٌ مع دودة، أو أي شيء مع أي شيء آخر. لقد قادنا ذلك إلى تطوير تقنيات تسمح لنا بتتبع أنسابنا، وتحديد المجرمين عن طريق أدلة الحمض النووي، وفهم كيف أصبح فيروس الإيدز خطراً، وحتى تتبع انتشار فيروسات الإنفلونزا في العالم. إن المفهوم، الذي سأناقشه يوفر أساساً للمنطق، الذي بني عليه هذا الكتاب. وعندما نفهمه، سندرك معنى الأسماك، والديدان، والبكتيريا، التي تقبع داخلنا.

إن هذا التفصيل للأفكار العظيمة حقاً– عن قوانين الطبيعة– يبدأ في أماكن نراها كل يوم. فمن البدايات البسيطة، تمتد أفكار كهذه؛ لتوضح أموراً أعظم بحق، كحركة النجوم، أو أفعال الزمن. بتلك الروح، يمكنني أن أشاطركم قانوناً واحداً حقيقياً يمكن لنا جميعاً أن نتفق عليه. إن هذا القانون عميق جداً يؤدي إلى أن يسلّم معظمنا به. رغم ذلك، فهي نقطة بداية لكل شيء نفعله في علم المستحاثات،

والبيولوجيا التطورية والوراثة.

إن قانون «كل شيء» البيولوجي هذا، هو أن لكل شيء حي على وجه الأرض آباء.

إن كل شخص عرفته في حياتك له أبوان بيولوجيان، وكذلك كل طير، وسلمندر، أو سمكة قرش رأيتها في حياتك. قد تغير التقنية من ذلك، بفضل الاستنساخ، أو الطرق، التي لمّا يتم اختراعها بعد، ولكن حتى الآن، لا زال القانون هذا قائماً. ولكي نوضحه بشكل أكثر دقة: كل شيء حي نشأ من بعض المعلومات الوراثية الأبوية. إن هذه الصيغة تحدد الأبوة بطريقة تصل حتى الآليات الحيوية للوراثة، وتسمح لنا بتطبيقها على كائنات كالبكتيريا، التي لا تتناسل بالطريقة التي نفعل.

إن امتداد هذا القانون هو مصدر قوته. وها هو يتجلّى بكل جماله: جميعنا كذرية معدلّون عن آبائنا أو عن معلومات آبائنا الوراثية. أنا متحدّر من أمي وأبي، ولكنني لست مطابقاً لهما. ووالديّ متحدران معدّلان من آبائهما. وهكذا دواليك. إن هذا النمط من التحدر مع التعديلات يحدد نسبنا. وهذا يتم بشكل جيد جداً، حتى أن بإمكاننا أن نبني نسب العائلة بأخذ عينات دم من الأفراد فحسب.

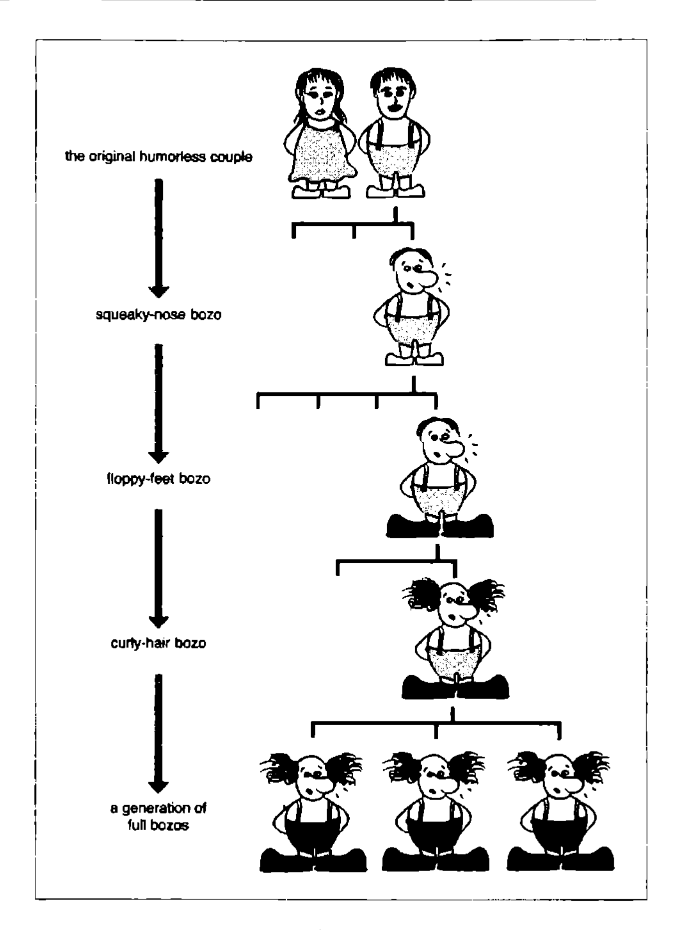
تخيل أنك تقف في غرفة ملأى بالناس، الذين لم ترهم من قبل. وأعطيتَ تمريناً بسيطاً: جد مدى القرابة بينك، وبين كل شخص في الغرفة. كيف يمكنك أن تعرف أبناء عمومتك البعيدين، والأبعد منهم، وأعمام أبويك، الذين خرجوا «عن الجد الثالث»؟

من أجل الإجابة عن هذا التساؤل، نحن بحاجة لآلية بيولوجية؛

لتقود تفكيرنا وتعطينا طريقة لاختبار دقة شجرة عائلتنا المفترضة. وتأتي هذه الآلية من التفكير بقانوننا البيولوجي. إن معرفة كيفية التحدر في النسب مع التعديل أمر أساسي لفهم التاريخ البيولوجي؛ لأن التحدر مع التعديل يمكن أن يترك توقيعاً معيناً يمكننا فهمه.

لنأخذ مثالاً افتراضياً، زوجان جادان لا يشبهان المهرجين في شيء ولديهما أطفال. أحد أبنائهما ولد مع طفرة جينية، أعطته أنفاً مطاطياً أحمرَ له صفير. يكبر هذا الابن، ويتزوج امرأة محظوظة. يمرر جين أنفه الطافر لأبنائه، ويصبح لديهم جميعاً ذلك الأنف المطاطي الأحمر ذو الصفير. الآن، افترض أن أحد هؤلاء الأبناء حصلت له طفرة فأصبحت له قدم كبيرة مرنة. عندما تمرر هذه الطفرة إلى الجيل التالي، سيصبح الأطفال جميعاً مثله: لديهم أنف مطاطي أحمر له صفير، وقدم كبيرة مرنة، تابع إلى جيل تالٍ واحد. تخيل أن أحد هؤلاء الاطفال، أحفاد الجدين الأصليين، لديه طفرة أخرى: شعر برتقالي مجعد. عندما تمرر هذه الطفرة للجيل التالي، فإن الأطفال جميعهم سيكون لديهم الشعر البرتقالي المجعد نفسه، و الأنف المطاطي الأحمر ذو الصفير نفسه، و القدم الكبيرة المرنة نفسها. وعندما تسأل: من بوزو (Bozo) هذا؟ فإنك تستعلم عن كل واحد من أحفاد أحفاد الجدين الأصليين المسكينين.

يوضح هذا المثال نقطة هامة جداً. إن التحدر في النسب مع التعديل يمكن أن يبني شجرة عائلة، أو شجرة نسب، ويمكننا أن نحددها بالصفات. إنّ لها توقيعاً يمكننا التعرف عليه بشكل مباشر. كمجموعة



شجرة عائلة المهرجين.

متداخلة من الدمى الروسية، إن شجرة النسب الافتراضية قد شكلت مجموعات ضمن أخرى، نتعرف عليها من خلال سماتها المميزة. إن مجموعة «المهرجين الكاملين» من أحفاد الأحفاد، قد تحدرت من فرد كان لديه أنف أصفر، وقدم مرنة فحسب. هذا الفرد كان في مجموعة من

مجموعة ما قبل المهرجين، الذين تحدروا من فرد لم يكن فيه من السمات إلا الأنف ذا الصفير. وقد نشأ هذا الفرد من الزوجين الأصليين، اللذين لم يبدوا قط بأية حال كالمهرجين.

إن هذا النمط من النسب المتحدر مع التعديل، يعني أن بإمكانك بسهولة أن ترسم شجرة عائلة المهرجين دون أن أخبرك أي شيء عنها. وإذا كان لديك غرفة مليئة بأجيال مختلفة منهم، سوف ترى أنّ ذرية كل مهرج لديها أنف ذو صفير. وسوف ترى مجموعة من هؤلاء لديهم شعر برتقالي، وقدم مرنة. وداخل هذه المجموعة ستجد مجموعة أخرى، المهرجين الكاملين. والمفتاح هنا هو أن السمات – الشعر البرتقالي، والأنف ذو الصفير، والقدم الكبيرة المرنة – تمكنك من التعرف على المجموعات. وهذه المزايا هي دليلك على المجموعات المختلفة، أو في هذه الحالة، من المهرجين.

استبدل هذا السيرك العائلي بمزايا حقيقية – الطفرات الجينية، والتغيرات الجسدية، التي ترمز لها – وسوف يتكوّن لديك نسب يمكن تحديده بسمات بيولوجية. وإذا كان التحدر في النسب مع التعديل يتم بهذا الشكل، فإن أشجار عائلاتنا لها توقيع في تركيبها الأساسي. وهذه الحقيقة قوية إلى درجة أنها يمكن أن تساعدنا على بناء شجرة العائلة من البيانات الجينية فحسب، كما نرى في مشاريع الأنساب الجينية العديدة القائمة حالياً. إن أرض الواقع– كما هو واضح– أكثر تعقيداً من مثالنا الافتراضي البسيط. إن إعادة بناء أشجار العائلة يمكن أن يكون شاقاً، إذا نشأت السمات مرات عديدة في عائلة ما، أو إذا كانت

العلاقة بين السمة والجينات، التي تسببها ليست مباشرة، أو إذا كانت السمات ليس لها أساس وراثي، ونشأت كنتيجة لتغيرات في الطعام، أو الظروف البيئية الأخرى. إن الأخبار الجيدة هي: أنّ نمط التحدر في النسب مع التعديلات يمكن تحديده عادة في وجه هذه التعقيدات، كتصفية الضجيج من إشارة راديوية تقريباً.

ولكن أين يتوقف نسبنا؟ هل يتوقف نسب المهرجين عند زوجين جادين؟ وهل يتوقف نسبي عند أول زوج من آل شوبين؟ يبدو ذلك أمراً اعتباطياً رهيباً. هل ينتهي نسبي عند اليهود الأكرانيين، أم الإيطاليين الشماليين؟ وماذا عن الإنسان الأول؟ أم أن نسبي يمتد إلى زبد البرك، التي يبلغ عمرها 3,8 مليار سنة، وما يزيد؟ إن الجميع متفقون على أن نسبهم يمتد إلى نقطة ما في الزمن، ولكن كم تمتد جذورنا في هذا الزمن؟

إن كان نسبنا يمتد إلى زبد البحيرات القديمة، ويمتد هكذا متبعاً قانوننا البيولوجي، فسيتوجب علينا أن نقدم الدليل، ونأتي بتنبوءات دقيقة. بدلاً من أن تكون توزيعاً عشوائياً للكائنات، على أنواع الحياة جميعها على الكرة الأرضية، عليك أن تظهر توقيع السلالة نفسه مع التعديلات، التي نراها بين المهرجين. في الواقع، إن تركيب السجل الجيولوجي كله يجب ألاّ يكون عشوائياً أيضاً.

ويجب أن تظهر إضافات جديدة في طبقات الصخور الفتيّة. تماماً كما أنا حديث العهد مقارنة بجدي في شجرة العائلة، حيث يكون لتركيب شجرة العائلة في الحياة تركيباً موازياً له في الزمن.

لمعرفة كيف يعيد علماء الأحياء إعادة تركيب صلتنا بالمخلوقات

الأخرى، لا بد لنا من أن نغادر السيرك، ونعود إلى حديقة الحيوان، التي زرناها في الفصل الأول من هذا الكتاب.

رحلة (أطول) في حديقة الحيوان

إنّ أجسامنا لم تتشكل بهذه الهيئة عشوائياً كما رأينا سابقاً. وأستخدم هنا كلمة «عشوائي» بمعنى خاص جداً، إنني أعني أن تراكيب أجسامنا ليست عشوائية بالتأكيد مع الأخذ بعين الاعتبار الحيوانات الأخرى التي تمشي، وتطير، وتسبح، أو حتى تزحف على هذا الكوكب. بعض الحيوانات تشترك معنا ببعض التراكيب، وأخرى لا تفعل. هناك نظام لما نتشارك به وبقية العالم. فلدينا أذنان، وعينان، ورأس واحد، وزوج من الأذرع، وزوج من الأرجل. وليس لدينا سبعة أرجل أو رأسان. وليس لدينا إطارات أيضاً.

إن نزهة في حديقة الحيوان ترينا فوراً صلتنا ببقية أشكال الحياة. وفي الواقع، سترينا أنه بإمكاننا تصنيف كثير من الأحياء بالطريقة نفسها، التي تمكنّا بها من تصنيف المهرجين. أولاً لنأخذ ثلاثة أمثلة كبداية. لنبدأ بالدببة القطبية. يمكنك أن تكتب قائمة طويلة بالسمات، التي نتشارك بها مع الدببة القطبية، كالشعر، والغدد الحليبية، والقوائم الأربع، والرقبة والعينين إضافة إلى العديد من الأشياء الأخرى. ثم لنلقِ نظرة على السلحفاة في طريقنا. هناك أوجه شبه بالتأكيد، ولكن القائمة أقصر قليلاً. فأنت تشترك مع السلحفاة بأربعة قوائم، ورقبة، وعينين

إضافة لأشياء أخرى. ولكن على النقيض منك ومن الدببة القطبية، ليس للسلحفاة شعر أو غدد حليبية. أما بالنسبة لقوقعة السلحفاة، فإنها تبدو مميزة للسلحفاة كما أن الفراء الأبيض مميز للدب القطبي. دعنا الآن نمر بمعرض الأسماك الإفريقية. ما يزال سكان هذا المعرض يشبهونك، ولكن قائمة أوجه الشبه أضحت أقصر من قائمة الشبه مع السلحفاة. فكما هي الحال لديك، للأسماك عينان، ولها أربعة أطراف (زوائد)، ولكنها تبدو كالزعانف، وليس كأذرع أو أرجل. تفتقر الأسماك– بالإضافة إلى سمات أخرى– الشعر والغدد اللبنية، التي تتشارك فيها أنت مع الدب القطبي.

إذا أُخذ بهذا التصنيف فإنه يبدو كتصنيف الدمى الروسية من المجموعات، والمجموعات الجزئية، والمجموعات الجزئية المتجزأة عن هذه الأخيرة. كالتي ظهرت في مثال المهرجين. إن الأسماك، والسلاحف والدببة القطبية، والبشر، تشترك جميعاً بالسمات نفسها: الرؤوس، والعينين، والأذنين، وغيرها. للسلاحف، والدببة القطبية، والإنسان هذه الميزات جميعها، ولكن لديها رقاب وأطراف أيضاً، ليست موجودة لدى الأسماك. تشكل الدببة القطبية، والإنسان مجموعة أكثر اصطفاءً، لأعضائها جميعا المزايا نفسها، إضافة للشعر والغدد اللبنية.

يقدم لنا مثال المهرج وسيلة؛ لندرك أبعاد نزهتنا في حديقة الحيوان. ففي مثال المهرجين، عكس نمط المجموعات التحدر في السلالة مع التعديل، وكانت النتيجة النهائية أن الأطفال المهرجين كلهم، يشتركون بمجموعة من الصفات لا يشتركون فيها مع أطفال ليس لديهم سوى

الأنف ذي الصفير. هذا يبدو منطقياً: أب الأطفال الذين لديهم أنف يصدر صفيراً هو الجد الأعظم للمهرجين الكاملين. وبتطبيق الأسلوب ذاته على المجموعات، التي نصادفها خلال نزهتنا في حديقة الحيوان، يعني أن الإنسان والدب القطبي يجب أن يشتركا بسلف أحدث، من الذي يشتركون به مع السلاحف. وهذا التنبؤ صحيح: إن الثدييات الأولى أحدث ظهوراً بكثير من الزواحف الأولى.

إن القضية الرئيسية هنا هي فك تشفير شجرة العائلة للأجناس، أو بعبارة بيولوجية أدق، نمط قرابتها. إن هذا النمط يعطينا طرائق؛ لتفسير مستحاثات كالتيكتاليك في ضوء نزهتنا في حديقة الحيوان. إن التكتاليك وسيط رائع بين الأسماك وأحفادها من الحيوانات، التي تمشي على اليابسة، ولكن احتمالات أن تكون هي سلفنا بشكل دقيق أمر بعيد جداً. إنها أكثر شبهاً بابن عم لسلفنا. لا يمكن لعالم مستحاثات عاقل أن يدعي أبداً أنه اكتشف «السلف». فكر بها بهذه الطريقة: ما احتمال أن أكتشف جِدّاً حقيقياً لي، بينما أنا أمشي عبر مقبرة عشوائية على هذا الكوكب؟ إن هذا احتمال يكاد يكون معدوماً. إن ما يمكن أن أكتشفه هو أن جميع الناس المدفونين في هذه المقبرة - بغض النظر إن كانت المقبرة في الصين، أم في بوتسوانا، أم في إيطاليا - هم أقرباء لي بدرجات مختلفة. يمكنني أن أعرف ذلك بالنظر إلى حمضهم النووي مع العديد من التقنيات الجنائية المستخدمة في مختبرات الجرائم هذه الأيام. سأرى أن بعض ساكني هذه القبور هم أقرباء لي لكن من بعيد، وآخرون أكثر قرباً. إن هذه الشجرة ستكون نافذة واسعة على ماضيّ وتاريخ

عائلتي. كما أنه سيكون لها تطبيقات عملية؛ لأنني يمكن أن أستخدم هذه الشجرة؛ لفهم قابليتي للإصابة بأمراضٍ ما، وحقائق أخرى عن بيولوجية جسمي. والأمر ذاته صحيح عندما نخمن العلاقات بين الأجناس.

إن قوة شجرة العائلة هذه تكمن في الأمور، التي تمكننا من تخمينها. وعلى رأس هذه هو أننا كلما حددنا خصائص مشتركة أكثر، فستكون أكثر اتساقاً مع الإطار العام. أي أنني كلما حددت سمات من الخلايا، والحمض النووي، والتراكيب، والأنسجة، والجزيئات الأخرى جميعها في أجسام هذه الحيوانات، فإنها سوف تدعم التصنيف الذي حددناه خلال نزهتنا. والعكس صحيح، يمكننا أن ندحض تصنيفاتنا بإيجاد سمات لا تتسق وإياها. أي أنه إن كان هناك العديد من السمات المشتركة بين الناس، والأسماك لا يمكن أن نجدها في الدب القطبي، فإن إطارنا النظري تشوبه الأخطاء، ويحتاج إلى مراجعة وإعادة طرح. وفي الحالات، التي يكون فيها الدليل غامضاً، نطبق عدداً من الأدوات الإحصائية؛ لتقييم جودة الصفات، التي تدعم الترتيبات في شجرة عائلتي. وفي الحالات، التي يكون بها غموض، تتم معاملة الترتيب النسبي، على أنه فرضية قائمة حتى نجد أمراً حاسماً يجعلنا إما أن نقبلها أو نرفضها.

إن بعض التصنيفات قوية جداً حتى يمكن– لأي غرض كان– أن نعدها حقيقة. فمثلاً تصنيف: السمكة، والسلحفاة، والدب القطبي، والبشر مدعوم بسمات من مئات الجينات، وجميع المزايا التشريحية تقريباً، وفسيولوجية الخلايا وبيلوجية هذه الحيوانات. إن إطار

السمكة إلى الإنسان لدينا مدعوم بشكل قوي جداً، فلم نعد نحاول نشر أدلة عليه؛ لأن القيام بذلك أشبه بإلقاء كرة خمسين مرة لإثبات نظرية الجاذبية. والأمر سيان بالنسبة لمثالنا البيولوجي. سوف تحصل على الفرصة ذاتها في مشاهدة كرتك ترتد للأعلى، في كل مرة من المحاولات الخمسين، التي ستلقيها بها، بينما تحاول إيجاد دليل قوي مناقض لهذه العلاقات.

يمكننا الآن أن نعود للتحدي، الذي افتتحنا به الكتاب. كيف يمكننا أن نعيد بثقة تركيب العلاقة بين حيوانات ماتت منذ غابر الأزمان، وأجسام وجينات حيوانات حديثة؟ سنبحث عن توقيع السلالة مع التعديل، ثم نضيف الخصائص، ونقيم جودة الدليل، ثم نقيم درجة تمثيل تصنيفاتنا في السجل الأحفوري. إن الأمر المدهش، هو أننا الآن نمتلك أدوات لفحص هذا التسلسل الهرمي، باستخدام الحاسوبات ومختبرات فحص سلسلة الحمض النووي الكبيرة؛ للقيام بالتحاليل نفسها، التي قمت بها خلال نزهتك في حديقة الحيوان. يمكننا الآن الوصول إلى مواقع مستحاثات جديدة حول العالم. ويمكننا أن نرى مكان أجسادنا في العالم الطبيعي بشكل أفضل مما استطعنا سابقاً.

لقد عرضنا منذ الفصل الأول وحتى الفصل العاشر، وجود شبه عميق بين مخلوقات حية في أيامنا هذه، ومخلوقات ماتت منذ غابر الأزمان - الديدان القديمة، والإسفنج الحي، والأنواع المختلفة من الأسماك. والآن- مسلحين بمعرفتنا لنمط التحدر في السلالة مع التعديل- يمكننا أن نبدأ بفهم ذلك كله. انتهينا الآن من المرح في السيرك وحديقة

الحيوان، لقد حان الوقت الآن لنتابع عملنا.

لقد رأينا أن داخل أجسامنا صلات بمجموعة من الوحوش الأخرى. بعض الأجزاء تشبه أجزاء من قنديل البحر، وبعضها الآخر يشبه أجزاءً من الديدان، وأخرى من الأسماك. وهذه ليست بمواطن شبه اعتباطية. إن أجزاءً منّا موجودة في كل الحيوانات الأخرى، بينما الحيوانات الأخرى فريدة بالنسبة لنا. ومن الجميل معرفة أنّ هناك نظاماً في كل هذه المزايا. مئات السمات من الحمض النووي، وعدد لا يحصى من السمات التشريحية، والتطورية جميعها تتبع المنطق نفسه، الذي رأيناه لدى المهرجين سابقاً.

لنتناول بعض المزايا، التي تحدثنا عنها سابقاً في الكتاب ونريك كيف أنها منظمة.

نحن نتشارك مع كل الحيوانات الأخرى على وجه البسيطة بأن لنا جسداً مكوناً من العديد من الخلايا. لنسمّي هذه المجموعة الأحياء عديدة الخلية. ونحن نشارك كل شيء من الإسفنج إلى الجوفمعويات (placozoans) من قنديل البحر وصولاً إلى الشمبانزي.

هناك مجموعة فرعية من هذه الحيوانات عديدة الخلايا لديها جسد يشبه جسدنا، فيه مقدمة، ومؤخرة، وقمة وقاع، ويسار ويمين. يسمي علماء التصنيف هذه المجموعة ثنائية الطرف (Bilateria)، التي تعني الحيوانات المتماثلة على الجانبين. وهي تتضمن كل الحيوانات من الحشرات إلى البشر.

إلى جانب هذه الحيوانات عديدة الخلايا، التي لها مخطط جسدي

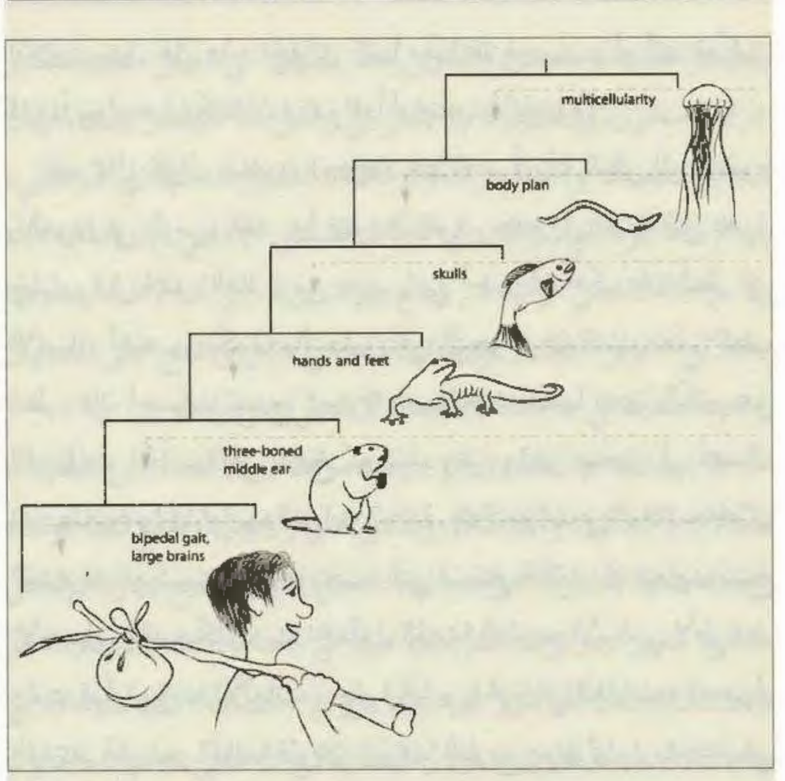
مثلنا، مقدمة ومؤخرة، وقمة وقاع، ويسار ويمين، هناك مجموعة فرعية أخرى لديها جماجم وعظام ظهرية. لنسمِّ هذه المخلوقات بالفقاريات (Vertebrates)، وهناك مجموعة فرعية أخرى لديها أيد وأقدام أيضاً. لنسمِّ هذه المجموعة برباعية الأطراف (tetrapods)، أي الحيوانات التي لديها أربعة أطراف.

وهناك مجموعة فرعية من الحيوانات عديدة الخلايا، التي لها مخطط جسدي مثلنا، ومقدمة ومؤخرة، وقمة وقاع، ويسار ويمين، ولديها جماجم وعظام ظهرية، وأيدٍ وأقدام، لديها أيضاً أذن وسطى ثلاثية العظيمات. لنسمِّ رباعيات الأطراف هذه بالثدييات.

وهناك مجموعة فرعية من الحيوانات عديدة الخلايا، التي لها مخطط جسدي مثلنا، ومقدمة ومؤخرة، وقمة وقاع، ويسار ويمين، ولديها جماجم وعظام ظهرية، وأيدٍ وأقدام وأذن وسطى ثلاثية العظيمات، لديها وقفة على قدمين (bipedal gait) وأدمغة كبيرة أيضاً. لنسمِّ هذه المجموعة من الثدييات بالبشر.

إن قدرة هذه التصنيفات يمكن رؤيتها في الدليل، الذي بنيت عليه. هناك مئات من السمات الوراثية والجينية، والتشريحية، التي تدعمها. وهذا الترتيب يسمح لنا بالنظر داخل أنفسنا بطريقة هامة.

إن هذا التمرين أشبه ما يكون بتقشير بصلة؛ لأنه يكشف طبقة بعد أخرى من التاريخ. فنرى أولاً السمات التي نشترك بها مع الثدييات الأخرى جميعها. ثم عندما ننظر أعمق، نجد السمات التي نشارك بها الأسماك. وأعمق من ذلك تقبع تلك السمات، التي نتشاركها مع



شجرة عائلة إنسان كاملة، وصولاً إلى قنديل البحر. إن لها تركيب شجرة عائلة المهرجين ذاتها.

الديدان أيضاً. وهكذا. وإذا تذكرنا منطق المهرجين، فهذا يعني أننا نرى نمطاً من التحدر في السلالة مع التعديل منقوشاً داخل أجسادنا.

ذلك النمط ينعكس في السجل الجيولوجي. إن أقدم المستحاثات عديدة الخلايا يبلغ عمرها أكثر من 600 مليون سنة. وأول مستحاثات بأذن وسطى مكونة من ثلاث عظيمات عمرها أقل من 200 مليون سنة. وأقدم المستحاثات، التي تقف على رجلين يبلغ عمرها ما يقارب أربعة

الملايين سنة. هل هذه الحقائق كلها مصادفة فحسب، أم أنها تعكس قانوناً بيولوجياً يمكننا أن نراه واقعاً أمام أعيننا كل يوم؟

لقد قال كارل ساغون (Carl Sagon) مرةً، أن النظر إلى النجوم كالعودة في الزمن. فقد بدأ ضوء النجوم رحلته إلى أعيننا قبل دهور خلت، قبل نشوء العالم بزمن بعيد. إنني أحب أن أفكر بأن النظر في الإنسان أشبه ما يكون بالتحديق في النجوم. إن كنت تعلم كيف تنظر، فإن أجسامنا تصبح كبسولة زمنية، عند فتحها تخبر بالكثير عن اللحظات الحاسمة في تاريخ كوكبنا، وعن ماض سحيق في أعماق المحيطات، والجداول، والغابات البائدة. إن التغيرات في الغلاف الجوي القديم قد انعكست في الجزيئات، التي تسمح لخلايانا أن تتعاون لتنتج الأجسام. وقد شكلت بيئة الجداول القديمة التشريح الأساسي لأطرافنا. وتمت قولبة رؤيتنا للألوان، وحاسة الشم بالحياة في الغابات والسهول القديمة. وتستمر القائمة طويلاً. إن هذا التاريخ هو إرثنا، إرث يؤثر في حياتنا اليوم، وسوف يؤثر فيها في المستقبل.

لم يجعلنا التاريخ نشعر بالمرض

كانت ركبتي منتفخة بحجم الليمون الهندي، وكان أحد زملائي من قسم الجراحة يلفها ويثنيها؛ ليحدد فيما إذا كنت قد مزّقت أو شُدَّت أحد الأربطة، أو الوسائد الغضروفية في الداخل. كشف هذا– وصور الرنين المغناطيسي، التي تلته– تمزقاً في الغضروف الهلالي،

النتيجة المحتملة لخمس وعشرين سنة قضيتها في حمل حقيبة الظهر فوق الصخور، والجلاميد، والحصى في الحقل. إذا آذيت ركبتك، فإنك ستكون أصبت واحداً من أجزاء ثلاثة: الغضروف الهلالي الوسطي، أو الرباط الوسطي المرافق، أو الرباط الصليبي الأمامي. إن إصابة هذه الأجزاء الثلاثة من الركبة أمر شائع بين الناس، حتى أن الأطباء يدعونها بالثلاثي الحزين (Unhappy Triad). وهي دليل واضح على مساوئ وجود سمكة في داخلنا. فالأسماك لا تمشي على رجلين.

إن إنسانيتنا لها كلفتها. فلوجود مجموعة من الأشياء، التي نفعلها – الكلام، والتفكير، والإمساك، والمشي على رجلين – ندفع ثمناً. وهذه نتيجة حتمية لشجرة الحياة بداخلنا. تخيل محاولة تصنيع سيارة فولكس فاجن؛ لتسير بسرعات تصل 150 ميلاً في الساعة. أسند أدولف هتلر (Adolf Hitler) للدكتور فيرديناند بورش (Ferdinand Porsche) في عام 1933، مهمة تطوير سيارة رخيصة يمكن أن تمشي 40 ميلاً بالجالون الواحد من الوقود. وتوفر شكلاً موثوقاً من المواصلات للعائلات الألمانية متوسطة الدخل. وكانت النتيجة خنفساء فولكس فاجن. في هذا التاريخ وضعت خطة هتلر قيوداً على الطرق، التي يمكننا بها أن نعدل في هذه السيارة هذه الأيام، يمكن وضع بعض التعديلات الهندسية القليلة حتى الآن قبل أن تنشأ مشاكل كبيرة، وتصل السيارة إلى أقصى حدودها.

نحن البشر، عبارة عن المكافئ السمكي لسيارة خنفساء جميلة. لتأخذ مخطط جسد سمكة ما، وقم بتعديله ليصبح ثديياً، ثم قم بتعديل

ذلك الثديي وتحسينه حتى يمشي على رجلين، ويتحدث، ويصبح قادراً على السيطرة الدقيقة جداً على أصابعه، فسوف تجلب لنفسك خليطاً من المشاكل. يمكننا أن نعدل سمكة بهذا القدر فقط دون أن ندفع ثمناً. في عالم مثالي التصميم - عالم لا تاريخ له - لن يتوجب علينا أن نعاني من البواسير أو السرطان.

ولا يمكن رؤية هذا التاريخ في مكان أفضل من التفافات شراييننا، وأعصابنا، وأوردتنا، وتعرجاتها وتحويلاتها. اتبع بعض الأعصاب، وسوف تجد أنها تشكل حلقات غريبة حول أعضاء أخرى، فيتضح أنها تذهب في اتجاه ما لتلتوي فقط، ثم تنتهي في مكان غير متوقع. إن هذه التحويلات هي منتج رائع لماضينا الذي– كما سنرى– غالباً ما يخلق لنا المتاعب، كالفواق (Hiccups) والفتاق (Hernia).

إن تاريخنا العميق قد قُضي– في أوقات مختلفة– في المحيطات والجداول الصغيرة وسهول السفانا القديمة، وليس في مباني المكاتب، وناطحات السحاب، وملاعب التنس. إننا لم نكن مصمَّمين لما بعد عمر الثمانين، والجلوس على أردافنا لعشر ساعات في اليوم، وأكل كعكات هوستيس (Hostess)، كما لم نكن مصممين للعب كرة القدم. إن هذا الانفصال بين ماضينا، وحاضرنا بوصفنا بشراً، يعني أن أجسامنا سوف تتفكك بطرق ما يمكن التنبؤ بها.

إن كل مرض نعاني منه له مكون تاريخي تقريباً. الأمثلة التالية تعكس كيف تعود الفروع المختلفة من شجرة الحياة داخلنا – من الإنسان القديم للبرمائيات، والأسماك، وأخيراً الميكروبات – لتضايقنا

اليوم. إن كل واحد من هذه الأمثلة سيوضح أن تصميمنا ليس منطقياً، ولكنه نتيجة لتاريخ ملتوٍ.

تاريخنا كصيادين وجامعين: السمنة، وأمراض القلب، والبواسير

كنا مفترسات نشطة في المحيطات والجداول القديمة خلال تاريخنا كأسماك، وخلال تاريخنا الأحدث كبرمائيات وزواحف وثدييات، كنا مخلوقات نشطة في افتراس كل شيء، من الزواحف وصولاً إلى الحشرات. وبعد ذلك، كرئيسيات، كنا حيوانات نشطة تعيش على الأشجار، وتتغذى على الفاكهة والأوراق. لقد كان الإنسان الأول صيّاداً وجامعاً، ثم في النهاية فلاحاً. هل لاحظت النمط هنا؟ إن المشترك في هذه السلسلة هي الكلمة «نشط»، السّيّئ في الأمر هو أن معظمنا يقضي معظم يومه في أي شيءٍ عدا النشاط. فأنا أجلس على مؤخرتي في هذه اللحظة أطبع هذا الكتاب، وعدد منكم الآن يفعلون مثلي بقراءته (عدا الأفاضل منّا ممن يقرؤونه في الصالة الرياضية). إن تاريخنا من الأسماك وحتى الإنسان الأول، لم يحضرنا لهذا النوع من السلوك. هذا التصادم بين ماضينا، وحاضرنا له توقيع في العديد من أمراض الحياة العصرية.

ما هي الأسباب الرئيسية للوفاة بين البشر؟ أربعة من الأسباب العشرة الرئيسية – أمراض القلب، والسكري، والسمنة، والسكتة الدماغية – لها أساس جيني، وربما تاريخي أيضاً.

تناول أخصائي في علم الإنسان جيمس نيل (James Neel) في عام 1962، هذه الفكرة من منظور طعامنا. وضع نيل ما أصبح يعرف بفرضية الطراز الجيني المزدهر (Thrifty Genotype)، وهو يقترح أن أسلافنا من البشر قد تكيفوا على الوجود والازدهار. وبوصفهم صيادين، كان الإنسان الأول يواجه فترات وفرة، عندما كانت الفرائس متوفرة، والصيد ناجح. فترات الوفرة هذه كانت تقطعها أوقات ندرة، عندما لم يكن لدى أسلافنا الكثير ليأكلوه.

لقد افترض نيل أن لهذه الدورة من الرغد، والقحط المتتابعين توقيعاً في جيناتنا وفي أمراضنا. لقد افترض بالضرورة أن أجساد أسلافنا سمحت لهم بحفظ الموارد خلال أوقات الوفرة، فيتمكنون من استخدامها في فترات القحط. وفي هذا السياق، يصبح تخزين الدهون ميزة مفيدة. إن الطاقة الموجودة في الأطعمة، التي نتناولها يتم تقسيمها؛ ليدعم بعضها الأنشطة، التي تبقي علينا أحياءً الآن، ويتم تخزين بعضها في الدهن -على سبيل المثال- ليتم استخدامها لاحقاً. إن هذا التقسيم جيد في عالم الرواج والكساد، ولكنه فاشل في عالم تتوفر فيه الأغذية الغنية على مدار الساعة طيلة أيام الأسبوع. إن السمنة والعلل المصاحبة لها - سكري الشيخوخة، وارتفاع ضغط الدم، وأمراض القلب - قد أصبحت الحالة الطبيعية الدارجة. كما قد تفسر نظرية الجينات الرائجة هذه سبب حبنا للأطعمة الدهنية. فهي ذات قيمة عالية من حيث محتوى الطاقة، وهو أمر كان له فائدة مميزة في تاريخنا السحيق.

إن نمط حياتنا الراكدة يؤثر فينا بطرق أخرى؛ لأن جهازنا الدوراني

نشأ أساساً في حيوانات أكثر نشاطاً.

يضخ قلبنا الدم، الذي يتم حمله إلى الأعضاء عن طريق الشرايين، ويعود للقلب عن طريق الأوردة. ولأن الشرايين أقرب للمضخة، فإن ضغط الدم فيها أعلى بكثير مما هو في الأوردة. ويمكن أن يسبب ذلك مشكلة خاصة للدم، الذي يجب أن يعود إلى القلب من القدمين. على الدم القادم من القدمين أن يصعد للأعلى، من أوردة القدمين إلى الصدر. وإذا كان ضغط الدم منخفضاً، فإنه قد لا يتمكن من الصعود للأعلى. لذلك هناك سمتان تساعدان في رفع الدم للأعلى. الأولى هي: صمامات صغيرة تسمح للدم بالصعود للأعلى، لكنها تمنعه من الرجوع للأسفل. والسمة الأخرى هي: عضلات أرجلنا. عندما نمشي، فإنها تنقبض، وهذا الانقباض يعمل على ضخ الدم في أوردة أرجلنا للأعلى. إن الصمامات أحادية الاتجاه، ومضخات عضلات الرجلين، تمكن دمنا من الصعود من القدمين إلى الصدر.

يعمل هذا النظام بشكل ممتاز في الحيوانات النشطة، التي تستخدم أرجلها للمشي، والركض، والقفز. ولكنه لا يعمل بشكل جيد في المخلوقات، التي تعيش حياة راكدة. فإن لم يتم استخدام الأرجل كثيراً، لن تتمكن العضلات من ضخ الدم للأعلى في الأوردة. ويمكن أن تنشأ مشاكل من تجمع الدم في الأوردة؛ لأن ذلك قد يسبب فشل الصمامات. وهذا ما يحدث تماماً في مرض الدوالي (varicose veins). فعندما تفشل هذه الصمامات، يتجمع الدم في الأوردة. وتصبح الأوردة أكبر وأكبر، منتفخة ومتخذة مسارات ملتوية في أرجلنا.

لا حاجة للقول، أن ترتيب الأوردة يمكن أن يسبب ألماً كبيراً في المؤخرة. فسائقو الشاحنات وغيرهم ممن يجلسون لساعات طويلة من الزمن، معرضون بشكل خاص للإصابة بالبواسير (hemorrhoids)، وهي تكلفة أخرى لحياتنا الراكدة. خلال ساعات الجلوس الطويلة، يتجمع الدم في الأوردة، والفراغات حول المستقيم. ومع تجمع الدم، تتشكل البواسير، وهي رسالة تذكير مزعجة أننا لم نخلق للجلوس طويلاً، وخصوصاً على الأسطح الطرية.

ماضي الرئيسيات: الكلام ليس رخيصاً

للكلام ثمن غالٍ: فالاختناق وانقطاع النفس أثناء النوم، يقعان في رأس قائمة المشاكل، التي علينا العيش معها من أجل أن نتمكن من الكلام.

إننا ننتج أصوات الكلام بالتحكم بحركات اللسان، والحنجرة، ومؤخرة الحلق. وهذه كلها تعديلات بسيطة نسبياً على تصميم الثدييات أو الزواحف. وكما رأينا في الفصل الخامس، فإن حنجرة الإنسان مكونة في معظمها من غضاريف قوس خيشومية، تناظر أعمدة الخياشيم الموجودة لدى القرش، والأسماك الأخرى. مؤخرة الحلق، التي تمتد من آخر ضرس إلى ما فوق الحبال الصوتية، لها جدران مرنة يمكن أن تفتح وتغلق. ونحن ننتج أصوات الكلام بتحريك لساننا، وتغيير شكل فمنا، وقبض عدد من العضلات، التي تتحكم بصلابة هذا الجدار.

إنّ انقطاع النفس أثناء النوم لمقايضة خطرة محتملة لمقدرتنا على الكلام. فخلال النوم، ترتخي عضلات الحلق. ولا تنتج هذه مشكلة، عند معظم الناس، ولكن قد تنهار لدى البعض حيث يمر زمن طويل دون تنفس. وهذا طبعاً يمكن أن يشكل خطراً كبيراً، خصوصاً لدى مرضى القلب. إن مرونة حلقنا المفيدة جداً في قدرتنا على الكلام، تجعلنا معرضين لشكل من انقطاع النفس، أثناء النوم الناتج من انغلاق مجرى الهواء.

ومن المقايضات الأخرى لهذا التصميم هو الاختناق. إن أفواهنا تقود لكل من القصبة الهوائية، التي نتنفس عن طريقها، ومريئنا. لذلك، فنحن نستخدم الممر نفسه للبلع، والتنفس، والكلام. هذه الوظائف الثلاث يمكن أن تتعارض، مثل أن تنزل قطعة من الطعام في القصبة الهوائية.

ماضي الأسماك والشُّراغيف (Tadpole): الفواق (Hiccups)

إن لهذا الإزعاج جذوره في التاريخ، الذي نشترك به مع الأسماك والشراغيف.

إن كان هناك أي عزاء لنا في الإصابة بالفواق، هو أننا نشترك بتعاستنا هذه مع ثدييات أخرى. يمكن أن يتم تحفيز القطط للفواق بإرسال سيال كهربائي، إلى قطعة صغيرة من الأنسجة في جذع دماغها. يعتقد أن هذه المنطقة من الجذع الدماغي هي المركز، الذي يتحكم برد الفعل

المنعكس المعقد، الذي نسميه بالفواق.

الفواق هو انقباض نمطي يتضمن عدداً من العضلات في جدار الجسم والحجاب الحاجز والرقبة والحنجرة. إن حصول تضيق في واحد أو اثنين من الأعصاب، التي تتحكم بالتنفس يسبب انقباض هذه العضلات. وهذا ينتج عنه شهيق حاد للهواء. ثم بعد حوالي 35 ميلي ثانية، تقوم طية من النسيج في مؤخرة حنجرتنا (لسان المزمار) بسد أعلى المجرى الهوائي. فالتنفس السريع المتبوع بإنغلاق قصير للأنبوب ينتج الفواق.

المشكلة هي في أننا نادراً ما نصاب بحادثة فواق واحدة، وإذا أوقفت الفواق في الحالات الخمس إلى العشر الأولى، فسيكون لديك فرصة جيدة في أن تنهي تلك الحالة. وإذا فاتتك تلك النافذة، فسوف تستمر نوبة الفواق لما معدله ستين مرة. تنفس ثاني أكسيد الكربون (بالتنفس في كيس ورقي عادي) ومد جدار الجسد (أخذ نفس عميق وكتمه)، يمكن أن تنهي الفواق مبكراً لدى بعضنا. ولكن ليس تماماً، فبعض الحالات المرضية للفواق يمكن أن تمتد لفترة طويلة جداً. لقد امتدت أطول فترة فواق في شخص ما دون انقطاع من عام 1922 إلى عام 1990.

إن ميلنا إلى أن نصاب بالفواق هو تأثير آخر لماضينا. هناك قضيتان هنا للتفكير: الأولى هي: ما سبب التشنج في الأعصاب، الذي يبدأ الفواق؟ والثانية، هي: ما الذي يتحكم بتلك الحالات من الفواق المميز؟ إنه التنفس المفاجئ السريع، وإغلاق لسان المزمار. إن تشنج العصب هو

نتاج تاريخنا السمكي، بينما الفواق بحد ذاته، نتيجة تاريخ نشترك به مع حيوانات كالشرغوف.

أولاً، الأسماك: يستطيع دماغنا أن يتحكم بتنفسنا دون جهد واعٍ من طرفنا. معظم العمل، الذي يتم في جذع الدماغ، عند الحد بين الدماغ والحبل الشوكي. يرسل جذع الدماغ سيالات لعضلات التنفس الرئيسية لدينا. يحدث التنفس بنمط ما. وتنقبض عضلات الصدر، والحجاب الحاجز، والحلق بترتيب محدد جيداً. و بناء عليه، فإن هذا الجزء من الجذر الدماغي يعرف بمولد النمط المركزي (central pattern generator). تنتج هذه المنطقة أنماطاً متناغمة من تنشيط العصب، وبناء عليه، العضلات. يتحكم عدد من هذه المولدات في دماغنا وحبلنا الشوكي بالسلوكات المتناغمة الأخرى، كالبلع والمشي.

المشكلة هي أن جذع الدماغ في الأساس، كان يتحكم بالتنفس في الأسماك؛ وقد تم تعديله للعمل في الثدييات. لدى الأسماك ذات العظام، ومنها أسماك القرش جزء من جذع الدماغ، الذي يتحكم بانقباض العضلات التناغمي في الحلق وحول الخياشيم. والأعصاب، التي تتحكم بتلك المناطق جميعها تخرج من جزء محدد تماماً من الجذع الدماغي. يمكننا حتى أن نرى ترتيب هذا العصب في بعض الأسماك الأكثر بدائية في السجل الأحفوري. فمستحاثات الأوستراكوديرم القديمة من الصخور، التي يزيد عمرها على 400 مليون سنة، قد حافظت على طبعات للدماغ والأعصاب الرأسية. تماماً كما في الأسماك الحية الآن، تمتد الأعصاب، التي تتحكم بالتنفس من جذع الدماغ.

هذا النظام يعمل بشكل جيد في الأسماك، ولكنه نظام سيِّئ بالنسبة للثدييات. وفي الأسماك، ليس للأعصاب، التي تتحكم بالتنفس مسافة طويلة تقطعها من جذع الدماغ. فالخياشيم والحلق بشكل عام تحيط هذه المنطقة من الدماغ. أما نحن الثدييات، فلدينا مشكلة مختلفة. يتم التحكم بالتنفس لدينا بعضلات جدار الصدر والحجاب الحاجز، وهي العضلة، التي تفصل صدرنا عن بطننا. يتحكم انقباض الحجاب الحاجز بالشهيق. والأعصاب، التي تتحكم بالحجاب الحاجز تخرج من دماغنا كما هي في الأسماك، أي من جذع الدماغ، بجانب رقبتنا. هذه الأعصاب، العصب التائه (Vagus)، والعصب الحجابي (phrenic nerve)، تمتد من قاعدة الجمجمة عبر التجويف الصدري؛ لتصل إلى الحجاب الحاجز، وأجزاء الصدر، التي تتحكم بالتنفس. إن هذا المسار الملتوي يسبب المشاكل، والتصميم المنطقي أن لا تمتد هذه الأعصاب من الرقبة، لكن من مكان أقرب للحجاب الحاجز. لسوء الحظ، فإن أي شيء يتداخل مع هذه الأعصاب، يمكن أن يحجب وظيفتها ويسبب تشنجاً.

إن كان المسار الغريب لأعصابنا هو نتاج ماضينا السمكي، فإن الفواق ذاته غالباً ناتج عن تاريخنا كبرمائيات. الفواق محدود بسلوكاتنا التنفسية، التي يتم بها أخذ كمية من الهواء بشكل مفاجئ، يتبعه انغلاق لسان المزمار. ويبدو أنّ هناك مولداً لنمطٍ مركزي، يتحكم بالفواق في جذع الدماغ: إذا حفزنا هذه المنطقة بسيال كهربائي، سيتم تنشيط الفواق. ومن المنطقي أن يتم التحكم بالفواق عن طريق مولد نمط

مركزي، فالفواق- كباقي السلوكات التناغمية- تسلسل محدد من الأحداث، التي تحدث خلال النوبة.

يتضح أن مولد النمط المسؤول عن الفواق مطابق لمولد نمط موجود لدى البرمائيات تقريباً. وليس في البرمائيات فحسب، وإنما في الشراغيف أيضا، التي تستخدم الرئتين والخياشيم للتنفس. تستخدم الشراغيف مولد النمط هذا عندما تتنفس بالخياشيم. في تلك الحالة، فإنها تريد ضخ الماء إلى أفواهها وحنجرتها عبر الخياشيم، ولكنها لا ترغب أن يدخل الماء إلى رئتيها. لمنع الماء من الدخول إلى الرئتين، فإنها تغلق لسان المزمار، وهي الزائدة اللحمية التي تغلق مجرى التنفس. ولإغلاق لسان المزمار لدى الشراغيف، مولد نمط مركزي في جذع دماغها بحيث يتبع الشهيق إغلاق فوري من لسان المزمار. لذلك يمكنها التنفس عن طريق الخياشيم بفضل شكل ممتد من الفواق.

إن الشبه بين فواقنا وتنفس الخياشيم في الشراغيف واضح جداً، حتى أن العديد من الناس اقترحوا أن الظاهرتين عبارة عن ظاهرة واحدة. وإن التنفس بالخياشيم في الشراغيف، يمكن أن يتم كبحه باستخدام ثاني أكسيد الكربون، تماماً كما هي الحال في فواقنا. ويمكننا أيضاً أن نحجب التنفس بالخياشيم في الشراغيف بمد جدار الصدر، تماماً كما يمكننا أن نوقف الفواق بسحب نفس طويل وحبسه. وربما يمكننا حتى أن نحجب تنفس الخياشيم في الشراغيف، بجعلها تشرب كأساً من الماء وهي مقلوبة رأسياً من الأعلى للأسفل.

ماضي القرش: الفتاق (Hernias)

إن ميلنا للإصابة بالفتاق، أو الفتق- على الأقل بالنسبة لتلك الحالات، التي تحدث أسفل البطن- ناتج عن أخذنا لجسد سمكة، وتحويره إلى ثديي.

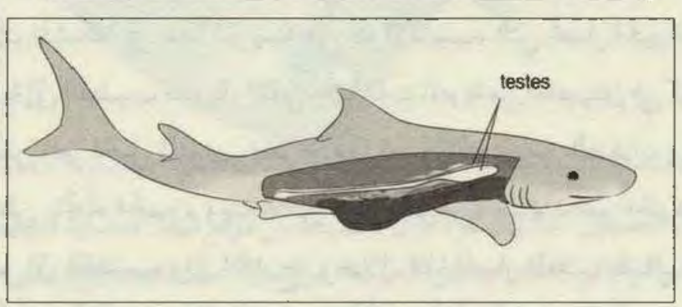
للأسماك غدد تناسلية تمتد باتجاه صدرها، وتصل إلى قلبها. أما الثدييات فليست كذلك، وهنا تكمن المشكلة. من الجيد جداً أن لا تكون غددنا التناسلية عميقاً في صدرنا، وبجوار قلبنا (على الرغم من أنها قد تجعل من إبدائنا للولاء تجربة مختلفة). لو كانت غددنا التناسلية في صدورنا، لما تمكنا من التناسل.

إذا شققنا بطن قرش من الفم إلى الذيل. فأول ما نشاهده هو الكبد. إن كبد القرش ضخم جداً. بعض علماء الحيوان يعتقدون أن الكبد الكبير يساهم في عوم القرش. أبعد الكبد قليلاً، وسوف تجد الغدد التناسلية تمتد إلى جانب القلب، في منطقة الصدر. إن هذا الترتيب موجود في معظم الأسماك: تمتد الغدد التناسلية باتجاه مقدمة الجسم. أما لدينا، كما هو الحال في معظم الثدييات، فإن هذا الترتيب سيشكل كارثة. الذكور ينتجون الحيوانات المنوية طيلة حياتهم.

إن الحيوانات المنوية (أو الحيامن) عبارة عن خلايا صغيرة نزقة تحتاج إلى درجة حرارة ما؛ لكي تتطور بشكل صحيح طيلة الأشهر الثلاثة، التي تعيشها. إذا زادت درجة الحرارة، فإن الحيوانات المنوية سوف تتشوه، وإن كانت درجة الحرارة باردة جداً، فإنها تموت. فلدى ذكور







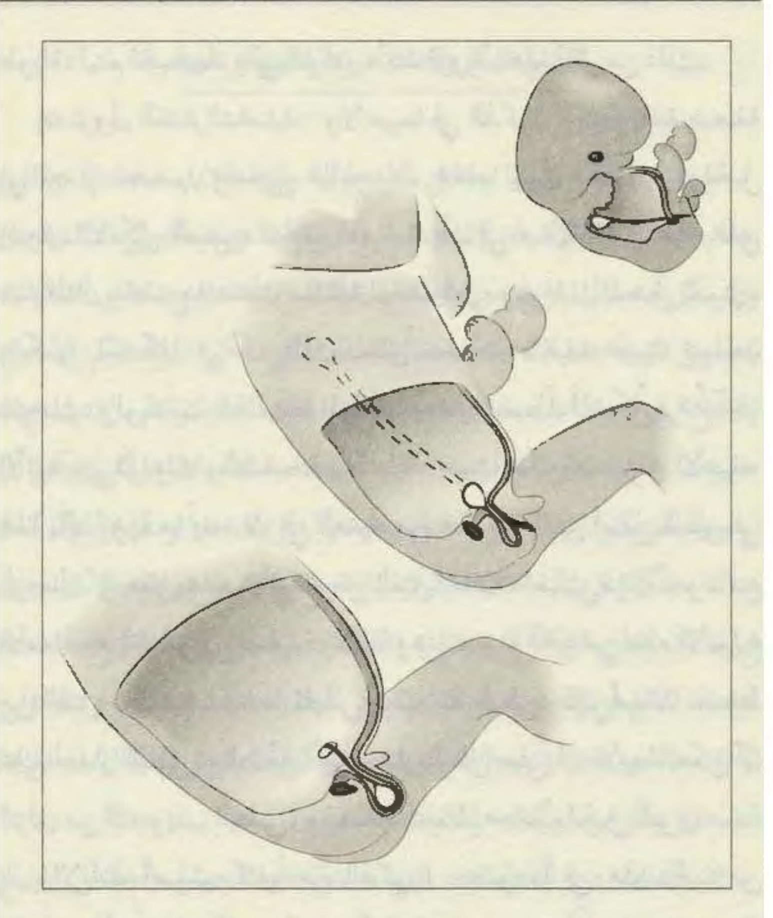
إذا فتحت قرشاً ستجد كبداً ضخمة (أعلى). وإذا أزحت الكبد جانباً، سوف ترى الغدد التناسلية، التي تمتد قريباً نسبياً من القلب، كما هي الحال في مخلوقات بدائية أخرى. الصور تفضل بها الدكتور ستيفين كامبانا (Steven Campana)، مختبر بحوث القرش الكندي (Canadian Shark Research Laboratory).

الثدييات جهاز صغير أنيق للتحكم بحرارة الجهاز الصانع للحيوانات المنوية، وهو كيس الصفن (scrotum). وكما نعلم جميعاً، فإن غدد الذكر التناسلية موجودة داخل الكيس. وداخل ذلك الكيس توجد عضلات بإمكانها أن تتمدد، وتنقبض مع تغير درجة الحرارة. كما أن هناك عضلات في الحبال المنوية. وهذا سبب تأثير الحمام البارد: إذ ينكمش كيس الصفن إلى جانب الجسد عندما يكون الحمام بارداً. ترتفع الحزمة كاملة أو تنخفض وفق درجة الحرارة. وهذا كله طريقة للحصول على أفضل إنتاج لحيوانات منوية سليمة.

إن الصفن المتدلي يعمل أيضاً، كإشارة جنسية في العديد من الثدييات. فبين الحسنات الفسيولوجية لوجود الغدد التناسلية خارج جدار الجسم، والفوائد العرضية، التي يوفرها ذلك في تأمين الشريك، هناك حسنات جمّة لأسلافنا البعيدين من الثدييات في وجود كيس الصفن.

إن المشكلة في هذا الترتيب هي أن الأنابيب، التي تحمل الحيوانات المنوية إلى القضيب ملتوية. تنتقل الحيوانات المنوية من الخصيتين في كيس الصفن عبر الحبل المنوي. يخرج هذا الحبل المنوي من الصفن، ويمتد للأعلى باتجاه الخصر، ويلتف من فوق الحوض، ثم يمتد عبر الحوض؛ ليصل إلى القضيب وإلى الخارج. وخلال هذا المسار المعقد، يضاف إلى الحيوانات المنوية السائل المنوي من عدد من الغدد المتصلة بالأنبوب.

إن سبب هذا المسار الغريب يكمن في تاريخنا التطوري والنشوئي. تبدأ غددنا التناسلية تطورها في المكان ذاته، الذي توجد فيه في القروش: في الأعلى بجانب الكبد. ومع نموها وتطورها، فإن غددنا التناسلية تنزل



نزول الخصيتين. خلال النمو، تنزل الخصيتان من موقع الغدد التناسلية (Gonads) البدائي في أعلى الجسم. وينتهي الأمر بهما في كيس الصفن (Scrotum)، وهو عبارة عن جيب خارجي من جدار البطن. هذا كله يجعل جدار البطن لدى الذكور من البشر ضعيفاً في منطقة الاربية (Groin).

للأسفل. وفي الإناث، تنزل المبايض من القسم الوسطي، وتستقر إلى جانب الرحم، وقناتي فالوب. يضمن هذا أن لا تسير البويضات مسافة

طويلة، ليتم تلقيحها. وفي الذكور، يمتد النزول هذا أكثر من ذلك.

إن نزول الغدد التناسلية– ولا سيما في الذكور– ينتج بقعة ضعيفة في جدار الجسم. ولتخيل ما يحدث عندما تنزل الخصيتين والحبل المنوي لتشكل الصفن، تخيل دفع قبضتك في صفيحة مطاطية. ففي هذا المثال، تصبح قبضتك مكافئة للخصيتين، وذراعك للحبل المنوي. وتكمن المشكلة في أن ذلك يخلق مساحة ضعيفة حيث تتواجد ذارعك. ولو كانت الصفيحة المطاطية جداراً بسيطاً، لَتَشكلّ فراغٌ آخر الآن، بين ذراعك والصفيحة المطاطية، حيث يمكن أن تنزلق الأشياء. هذا بالضرورة ما يحدث في العديد من حالات الفتق أسفل البطن في الرجال. وبعض هذه الأنواع من الفتق خلقية، حيث تنزل أجزاء من الأمعاء مع الخصيتين حينما تنزلان. وهناك نوع آخر من هذه الأنواع من الفتق مكتسبة. عندما نقبض عضلات البطن، فإن أمعاءنا تضغط على جدار البطن. والضعف في جدار البطن يعني أن الأمعاء يمكن أن تنزلق من التجويف البطني، وتنضغط لتستقر جانب الحبل المنوي.

والإناث أصلب كثيراً من الذكور، خصوصاً في هذا الجزء من الجسم. لأن الإناث ليس لديهن أنبوب ضخم يمتد عبرها، فإن جدار البطن لديهن أقوى مما هو لدى الذكور.

هذا أمر جيد عندما تفكر بالضغط الهائل، الذي تتعرض له جدران البطن خلال الحمل والولادة. إن وجود أنبوب عبر جدار الجسد لن يساعد كثيراً. إن ميل الرجال للإصابة بالفتق هو مقايضة بين ماضي أسلافنا السمكي وحاضرنا الثديي.

ماضي الميكروبات: أمراض الميتوكوندريا

توجد الميتوكوندريا داخل كل خلية من خلايا جسمنا، وتقوم بعدد مذهل من الأشياء. إن أوضح وظيفة لها هي، تحويل الأكسجين والسكريات إلى نوع من الطاقة، يمكننا استخدامه داخل خلايانا. تتضمن الوظائف الأخرى أيضاً السموم في الكبد، وتنظيم الأجزاء المختلفة من وظائف خلايانا. نلحظ وجود الميتوكوندريا لدينا عند حدوث خلل ما فقط. ولسوء الحظ، فإن قائمة الأمراض، التي يمكن أن تسببها الميتوكوندريا، التي تختل وظيفتها طويلة جداً ومعقدة. إن كان هناك مشكلة في التفاعلات الكيميائية، التي يتم استهلاك الأكسجين فيها، فإن إنتاج الطاقة قد يختل. وقد ينحصر الخلل في الوظيفة بأنسجة محددة، لنقل في العينين، أو قد يؤثر في أجهزة الجسم كلها. وبناء على المكان، الذي يحدث فيه الخلل وشدته، يمكن أن يقود إلى حالات أدناها الضعف والوهن، وأقصاها الموت.

إن العديد من العمليات، التي نستخدمها لنعيش، تعكس تاريخ الميتوكوندريا في أجسامنا. فسلسلة التفاعلات الكيميائية، التي تحول السكريات والأكسجين إلى طاقة، يمكن الاستفادة منها وإنتاج ثاني أكسيد الكربون، قد نشأت قبل مليارات السنين، ولا تزال نسخ منها موجودة في الميكروبات المختلفة. تحمل الميتوكوندريا تاريخ البكتيريا هذا داخلها: بتريكب جيني، وتركيب ميكروخلوي مشابه للبكتيريا، ومن المقبول عموماً أنها نشأت أصلاً من ميكروبات تعيش حرة على مر

مليارات السنين. وفي الحقيقة، فإن آلية إنتاج الطاقة الكاملة الموجودة في هذه الميتوكوندريا، قد نشأت في واحد من هذه الأنواع القديمة من البكتيريا.

يمكن استخدام ماضي البكتيريا لصالحنا في دراسة أمراض الميتوكوندريا، وفي الحقيقة، بعض أفضل نماذج التجارب لهذه الأمراض هي البكتيريا. وهذا أمر مذهل؛ لأن بإمكاننا أن نقوم بأي نوع من التجارب على البكتيريا، حتى ما يمكن إجراؤه على خلايا البشر. وإحدى أهم الدراسات، التي كان لها أثر كبير، ما تم على يد فريق من العلماء من إيطاليا وألمانيا. وكان المرض، الذي درسوه يقتل الأطفال الذين يولدون بهذا المرض بلا تفرقة.

هذا المرض يُسمى اعتلال الدماغ وعضلة القلب (cardioencephalomyopathy). وفي دراسة مريض أصيب بالمرض، حدد الفريق الأوروبي مكاناً في الحمض النووي أصيب بتغير مثير للشك. وبمعرفة شيء حول تاريخ الحياة، تحولوا بعدها إلى الميكروب المسمى شبيه العصوي المحلل للنيتروجين، أو باراكوكاس دينيتريفيكانز (Paracoccus denitrificans)، والذي يسمى غالباً الميتوكوندريا، التي تعيش حرة بسبب الشبه بين جيناته، ومساراته الكيميائية بتلك الموجودة في الميتوكوندريا. تماماً كالشبه، الذي كشفه الفريق الأوروبي. لقد أنتجوا في البكتيريا التغيير ذاته، الذي يطرأ في مريضهم البشري. وما وجدوه منطقي تماماً، عندما نعرف تاريخنا. لقد تمكنوا من محاكاة أجزاء من مرض ميتوكوندريا الإنسان في بكتيريا، مع نفس التغييرات

في الأيض تقريباً. وهذا يضع جزءاً من تاريخنا، الذي يمتد لمليارات السنين في خدمتنا.

إن مثال الميكروبات ليس وحيداً. فبالاحتكام وفقاً لجوائز نوبل، التي تم منحها في الطب، وعلم وظائف الأعضاء خلال السنوات الثلاثين الماضية، كان يجب أن أطلق على هذا الكتاب اسم ذبابتك الداخلية، أو دودتك الداخلية، أو خميرتك الداخلية. فالأبحاث الرائدة على الذباب فازت بجائزة نوبل عام 1995 في الطب؛ لكشفها عن مجموعة من الجينات، التي تبني الأجسام في الإنسان، والحيوانات الأخرى. وجائزة نوبل في الأعوام 2002 و2006 في الطب، ذهبت لأناس أحرزوا تقدماً هاماً في علم الوراثة البشري، والصحة بدراسة دودة لا تبدو ذات أهمية (C. elegans). وهذا ما حدث في عام 2001، فاز التحليل المميز للخميرة (بما فيها خميرة الخبز) وقنافذ البحر بجائزة نوبل في الطب؛ لأنها زادت فهمنا لبعض العلوم الحيوية الأساسية في الخلايا جميعها. وهذه ليست اكتشافات سرية، تمت على مخلوقات مخفية وغير هامة. إنها اكتشافات تمت على الخميرة، والذباب، والديدان، ونعم على الأسماك، وهي تخبرنا الكثير حول كيفية عمل أجسامنا، وأسباب العديد من الأمراض التي نعانيها، والطرق، التي تمكننا من تطوير أدوات تزيد من أعمارنا وتحسن صحتنا.

الخاتمة

أجد نفسي مؤخراً بوصفي والداً لطفلين، أقضي كثيراً من الوقت في حدائق الحيوان والمتاحف والأحواض المائية. كزائر، وهذه تجربة غريبة بالنسبة إلي؛ لأنني كنت أعمل في مثل هذه الأماكن لعقود، عاملاً على المجموعات في المتاحف، وحتى مساعداً في تحضير المعارض في المناسبات. وخلال رحلاتي العائلية، أدركت كم من الممكن أن تجعلني مهنتي أهيم في جمال ودقة تعقيد عالمنا وأجسامنا، وغالباً ما كان اهتمامي متحيزاً وتحليلياً. أنا الآن أعيش العلم مع أطفالي، في أماكن، كالتي اكتشفت فيها ذلك الحب في المقام الأول.

لحظة خاصة واحدة عشتها مؤخراً مع طفلي في متحف العلوم والصناعة في شيكاغو. لقد كنا نذهب إلى هناك بشكل منتظم خلال السنوات الثلاث الماضية؛ بسبب حبه للقطارات؛ ولأن هناك نموذجاً كبيراً لسكة حديدية وسط المكان. لقد قضيت ساعات لا تحصى في ذلك المعرض تحديداً، متتبعاً أجزاء النموذج المتحركة في رحلتها من شيكاغو إلى سياتل. وبعد عدد من الزيارات الأسبوعية إلى هذا المزار بالنسبة للمهووسين بالقطارات، ذهبنا أنا وناثانيال إلى أركان في المتحف، التي فشلنا في زيارتها من قبل خلال رحلاتنا لمشاهدة القطار، أو الغزوات القليلة إلى الجرارات الكبيرة والطائرات. وفي خلفية المتحف– في مركز

هينري كراون للفضاء (Henry Crown Space Center)– تعلق نماذج للكواكب من السقف، وبزات الفضاء الموضوعة في حقائب مع أشياء أخرى، تذكرنا ببرامج الفضاء في الستينيات والسبعينيات من القرن المنصرم. لقد كنت أحسب أنني سأرى في خلفية المتحف الأمور التافهة، التي لم تتمكن من أن تشق طريقها للواجهات الأمامية للعرض.

تتكون إحدى المعروضات من كبسولة فضاء ممزقة يمكن أن تمشي حولها وتنظر داخلها. لم تبدُ ذات أهمية، لقد بدت صغيرة جداً ومعدلة، على أن تكون ذات أهمية لاحقاً. لقد كان الإعلان الموضوع عليها رسمياً بشكل غريب، وكان علي أن أقرأه عدة مرات قبل أن يتضح لي: هنا كانت حجرة القيادة الأصلية من أبوللو 8، الكبسولة الحقيقية، التي حملت جايمس لوفيل (James Lovell)، وفرانك بورمان (Frank Borman)، وويليان أندرز (William Anders) في أول رحلة بشرية إلى القمر ثم رجوعاً. لقد كانت هذه سفينة فضاء تتبعت مسارها خلال إجازة رأس السنة في الصف الثالث، وهنا الآن بعد ثمانية وثلاثين عاماً مع ابني، ننظر إلى السفينة الحقيقية. طبعاً كانت بالية. أمكنني أن أرى خدوش الرحلة، والرجوع التالي إلى الأرض. لم يكن ناثانيال مهتماً إطلاقاً، لذلك أمسكت به، وحاولت أن أوضح له ما كانت. ولكن خانني التعبير، لقد غصّ صوتي بمشاعر قيدت لساني فلم أتمكن من نطق كلمة واحدة تقريباً. بعد بضع دقائق، استعدت رباطة جأشي، وأخبرته بقصة رحلة الإنسان إلى القمر.

ولكن القصة، التي لم أتمكن من إخباره بها، هي السبب وراء عدم

قدرتي على الكلام ومشاعري الفياضة. إن القصة الحقيقية هي في كون أبوللو 8 رمزاً لسلطة العلم، وقدرته على توضيح عالمنا، وجعله معروفاً لنا. يمكن للناس أن يعترضوا كما يريدون على مدى ارتباط برنامج الفضاء بالعلم أم، بالسياسة، ولكن الحقيقة الأساسية تبقى واضحة اليوم كما كانت في عام 1968: لقد كان أبوللو 8 نتاج التفاؤل الضروري، الذي كان يغذي أفضل العلوم. إنه يمثل القدر، الذي لا يجب أن يكون به المجهول مصدراً للشك، أو الخوف أو اللجوء للخرافات، ولكن دافعاً لمتابعة طرح الأسئلة والبحث عن إجابات لها.

وكما غيّر برنامج الفضاء نظرتنا إلى القمر تماماً، فإن علم المستحاثات والوراثة غيرّا نظرتنا لأنفسنا. وكلما تعلمنا أكثر، أصبح ما كان يبدو في الماضي سحيقاً وغير قابل للتحقيق، في مجال إدراكنا وفي قبضتنا. إننا نعيش في عالم الاكتشافات، عندما يكشف العلم الأسرار الخفية للمخلوقات المختلفة كقناديل البحر والديدان والفئران، فإنه يصبح لدينا بصيص أمل في حل أحد أعظم ألغاز العلم، وهو الاختلافات الجينية، التي تجعل الإنسان متميزاً عن المخلوقات الحية الأخرى. وإذا أضفنا هذه التبصرات الجديدة القوية إلى حقيقة أن بعض أهم الاكتشافات في علم المستحاثات - المستحاثات الجديدة، والأدوات الجديدة لتحليلها - قد خرجت إلى حيز الوجود في السنوات العشرين الماضية، فإننا سنرى حقيقة تاريخنا بدقة متزايدة. بالرجوع عبر مليارات السنين من التغيير، يبدو كل شيء مبدع أو مميز ظاهرياً في تاريخ الحياة، أمراً قديماً حقاً تمت إعادة تدويره، وتجميعه وتوجيهه لأغراض أخرى، أو تعديله

لاستخدامات جديدة. هذه قصة كل جزء منّا، من أعضاء الإحساس فينا، إلى رؤوسنا، في الواقع مخطط جسدنا كاملاً.

ما الذي تعنيه مليارات السنين من التاريخ لحياتنا اليوم؟ إن الإجابة على أسئلة جوهرية نواجهها – حول الأمور الداخلية لأعضائنا ومكاننا في الطبيعة – سوف تتأتى، من فهم كيفية نشوء أجسادنا وعقولنا من أجزاء مشتركة مع الكائنات الحية الأخرى. يمكنني تخيل بضعة أشياء أكثر جمالاً، وأكثر وضوحاً ذهنياً عند إيجاد أساس إنسانيتنا، وعلاجات العديد من العلل، التي نعانيها، كامنة داخل بعض أكثر المخلوقات تواضعاً، التي عاشت على هذه الأرض منذ القدم.

تعقيب على نسخ الكتاب القديمة

لقد اعتقدت بسذاجة أن القطب المتجمد الشمالي، كونه بعيداً جداً عن رنين الهواتف، والبريد الإلكتروني، وغيرها من قيود الحضارة الحديثة، سيعطيني مكاناً هادئاً جداً؛ لأتأمل السنة، التي مضت منذ نشر «السمكة في داخلك» أصلاً. لسوء الحظ، لهذا المكان طريقته الخاصة بابتلاع المخططات كلها. لقد رجعنا إلى مواقع التيكتاليك في جنوب جزيرة إيلزمير هذا الصيف؛ لنتعلم المزيد حول ذلك المخلوق وعالمه. لقد تدبرنا أنا، وتيد، وفاريش أنواع الخطط كلها؛ للعمل في مواقع المستحاثات هذه، وللبحث عن مستحاثات أخرى في الجوار. ولعمل ذلك، قمنا باحتساب احتياجاتنا من الطعام حتى آخر قطعة حلويات، واستهلاك الوقود طيلة الصيف، وخططنا لتواريخ انتقال المخيم للسماح لنا باستكمال عملنا.

ولكنني الآن، أكتب هذه الكلمات في وسط عاصفة ثلجية في التاسع عشر من يوليو. خيمتي تتثنى تحت غطاء من الثلج الرطب، الذي يندفع على جدران خيمة النايلون؛ بسبب الرياح القطبية العاتية. ويمكن للثلج أن يوقف عملياتنا تماماً، مما يجعل من المستحيل تقريباً إيجاد المستحاثات. والأسواء من ذلك، قد يتوجب علينا تأخير انتقال مخيمنا إلى موقع واعد؛ للبحث عن المستحاثات، وذلك ما كان في مخططاتنا

في عام 2004 إلى أجل غير مسمى. لقد تذكرت عبارة تستخدمها معلمة طفلي في الحضانة، وتناسب التبرع بالوجبات الخفيفة كما تناسب علماء كبار يعملون في القطب المتجمد، «اكتف بما تحصل عليه، ولا تبتئس».

ها أنا ذا في القطب المتجمد الشمالي، نافذتنا على عالم عمره 375 مليون سنة لا تتعدى حفرة في الأرض قطرها 30 قدماً، وعمقها 12 قدماً. وعلى مر السنين، أزلنا ما يقارب 30 قدماً مكعباً من الصخور، معظمها بأيدينا، في جهد حثيث للكشف عن طبقة خاصة جداً، طبقة مليئة بعظام المستحاثات. إنه مشهد مضحك: فالقطب الشمالي عبارة عن أرض واسعة جرداء، مع القليل جداً من الحياة الواضحة على السطح. رغم ذلك، إن نظرنا إلى عمّالنا في الحفرة، نجد ستة بالغين يعملون في ثقب صغير مزدحم، حتى أن رؤوسنا وأكتافنا وأرجلنا كانت تصطدم معاً.




الوادي الذي وجدنا فيه التيكتاليك (يسار) مكان كبير جداً، رغم ذلك، فإن موقع المستحاثات (السهم واليمين) مزدحم. صورة من المؤلف.

نجلس ساعات طويلة مع فرشاة بإحدى يدينا، ومعول صغير بالأخرى، وأوجهنا لا تبعد سوى بضع بوصات عن الحجارة؛ لأن التمييز بين العظام والرسوبيات المحيطة دقيق جداً. فأحياناً يكون الأمر الوحيد، الذي يميز العظام من الصخور، هو لمعة غريبة أو ملمس مختلف. إن كل كتلة من الأتربة، أو الوحل قد تخفي ما يمكن أن يكون اكتشافاً هاماً. إحدى أفضل عينات التيكتاليك كانت أساساً كتلة من العظم تبرز من بين الصخور. من السهل والمخيف أيضاً أن لا يميز المرء هذه الأشياء، فأنا أكره أن أفكر بكم العينات العديدة الهامة، التي قد فوّتناها بسبب الصخور الرطبة، والريح أو حتى بسبب ظروف الإضاءة السيئة خلال الأيام، التي عملنا فيها.

وبما أننا وصفنا التيكتاليك أساساً في عام 2006، فقد مررنا بهذا النوع من العمل الحقلي، لنتعلم المزيد عن هذا المخلوق. وبينما كان المختبر مشغولاً كان كل من فريد موليسون وبوب ماسيك وهما كما تتذكر خبيران بتحضير المستحاثات، يشقان طريقهما للكشف عما بداخل جمجمة التيكتاليك؛ للكشف عن أجزاء الصفائح وغلاف الدماغ. هل تتذكرون جون داونز، طالب الجامعة الفتيّ، الذي انضم إلينا في عام 2000 فقط، ليجد موقع التيكتاليك الرئيسي. أصبح جاسون الآن الدكتور جاسون ب. داونز، الذي يحمل درجة الدكتوراه، وهو يجري أبحاث ما بعد الدكتوراه على هذه الأجزاء تحديداً من التيكتاليك.

يظهر أكبر اكتشاف لنا منذ نشر هذا الكتاب– كما أُعلن في مجلة الطبيعة (Nature) في 2008– في المنطقة السفلية من الجمجمة، عندما

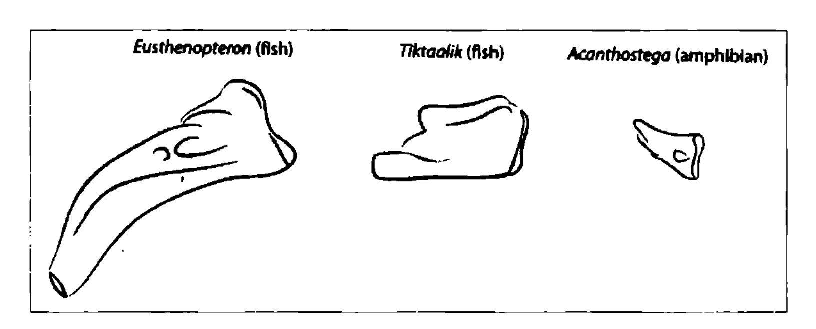
كشف فريد وبوب هذه الأجزاء، اكتشفنا أدلة حول كيفية حركة التيكتاليك، وتنفسه، ودعم جسده. وللمرة الأولى رأينا التيكتاليك بوصفه حيواناً مائياً متخصصاً، بتنفس الهواء ودعم نفسه على الأرض الصلبة. وجاءت هذه الحقائق من العديد من الملاحظات الهامة، وأهمها: أنه على النقيض من غيره من الأسماك ذات العظام، ليس لدى التيكتاليك صفيحة عظمية هامة: الغطاء (Operculum).

الغطاء هو صفيحة من العظام تشكل ثنية، تغطي الخياشيم في معظم الأسماك ذات العظام. وربما رأيت وظيفة هذه العظام في الأسماك، التي يتم القبض عليها خارج المياه. فعندما تحاول التنفس، تقوم هذه القطعة بالفتح والإغلاق. إن الوظيفة الطبيعية لهذه الصفيحة هي مساعدة السمكة في تحريك الماء على الخياشيم. ومعظمها تحقق ذلك باستخدام حركة دفع وجذب. تدخل المياه إلى الفم والحلق، ثم تدفع على الخياشيم بفتح الغطاء. هذه الطريقة السمكية في التنفس تختلف عن تلك، التي نراها لدى الحيوانات، التي تعيش على اليابسة: فالماء أو الهواء يتحرك إلى الأعضاء التنفسية، سواء أكانت الخياشيم أو الرئة، بدفع الفم فقط أو بتغيرات بشكل تجويف الصدر. فالضفدع- مثلاً- يحرك الهواء إلى داخل الرئتين وخارجهما عبر ضخه بواسطة الفم. لذلك، فإن التيكتاليك هي سمكة بزعانف لها خياشيم ورئتان حقيقيتان، ولكنها فقدت الغطاء. وهي تعتمد بشكل كبير على التنفس بالفم، تماماً كالحيوانات، التي تعيش على اليابسة.

صدق أو لا تصدق، فقدان الغطاء يُنْبِئ بالطريقة، التي كانت تتحرك

بها التيكتاليك. الغطاء هو واحدة من العظام، التي تعمل على وصل الرأس بجسم السمكة. وهذه الصلة تعني أن السمكة، التي ترغب بتحريك رأسها عليها تحريك جسدها كله. التيكتاليك مختلف. بفقدان الغطاء و العظام جميعها، التي تعمل على وصل الرأس بالكتف، أصبح للتيكتاليك عنق حقيقية. وهذا يعني أنه كان بإمكانها تحريك رأسها بشكل مستقل عن الجسد، تماماً كالحيوانات، التي نشأت لتتمكن من المشي على اليابسة. تسبح الأسماك وتتغذى في مجال ثلاثي الأبعاد، وهي قادرة لذلك على توجيه جسدها لتضع فمها باتجاه الفريسة. الرقبة ميزة في بعض الأوضاع؛ لأنها تمكن الحيوانات من دعم نفسها على الأرض الصلبة، كما هي الحال في البرك الضحلة من المياه أو اليابسة. ولفهم أهمية ذلك، تخيل أنك تنظر حولك، بينما تقوم بعمل تمرين الضغط – سوف تكون بلا حظّ إن لم يكن لديك رقبة.

كما يظهر السطح السفلي من الجمجمة أيضاً كيف أن التيكتاليك كانت حلقة وصل مع أشياء أخرى. فالركاب– العظمة الموجودة في أذننا الوسطى والتي نستخدمها في السمع– كانت عظمة في سلسلة الأقواس الخيشومية في الأسماك. نعلم ذلك من التشريح المقارن والجينات. للقيام بذلك التحول النشوئي، كان على تلك العظمة أن تصغر في الحجم كثيراً من وضعها البدائي كعظمة كبيرة تدعم الجمجمة في القرش والأسماك ذات العظام، إلى عظمة صغيرة في الأذن. إننا نرى أول ركاب في البرمائيات الأولى كالأكانثوستيجا، وبالنظر إلى الأسماك القريبة منها ذات الزعانف الحلْقية– سنى عظمة كبيرة– ذات شكل



عظمة قوس خيشومية، المحدبة، تصبح صغيرة تدريجياً على مر ملايين السنين، لتتحول إلى عظيمة صغيرة في أذننا الوسطى. هذه العظمة في التيكتاليك متوسطة الحجم بين العظمة المناظرة في الأسماك حلقية الزعنفة، والبرمائيات البدائية. رسم كاليوبي مونويويس.

كالعصا المرتدة. إحدى هذه الأسماك المعروفة جيداً الأيسثينوبتيرون، التي لديها عظمة كبيرة مع عدد من المفاصل التي تقترح، أنها كانت حلقة وصل رئيسية بين العظام الأخرى في الجمجمة. نعرف الآن ما بدت عليه تلك العظمة في التيكتاليك. أزال فريد وبوب العظام من السمكة، فماذا كانت النتيجة يا ترى؟ كان للتيكتاليك عظمة أصغر من تلك الموجودة في الأيسثينوبتيرون، ولكنها في الوقت نفسه أكبر منها في الأكانثوستيجا. إنها ذات حجم جميل متوسط بينهما.

لكن لِمَ التوقف عند الأذن؟ رأس السمكة حلقية الزعانف كالأيسثينوبتيرون به مفصل غريب في وسط الجمجة الدماغية. ومن الغرابة، أنّ مقدمة الجمجمة يمكن أن تمتد حتى النهاية الخلفية. جمجمة الحيوانات، التي تعيش على اليابسة أكثر صلابة: فالمفصل قد اختفى والعظام مثبتة معاً بشكل قوي. لكن ماذا يوجد لدى التيكتاليك؟

هناك مفصل، في المكان نفسه كما في الأيستينوبتيرون. ولكن هذا المفصل له مدى حركة محدود جداً مقارنة بالنوع الأولي الموجود لدى الأيستينوبتيرون. الأجزاء الأخرى من الجمجمة تشبه تلك الموجودة في الأسماك، كشكل الجهة الخلفية، أو أشبه بالبرمائيات كشكل سقف الحلق. بما أن «السمكة داخلك» قد نشر في يناير من عام 2008، كنت أتعرض لعدد من الأسئلة حول ماضينا السحيق، والطرق، التي يعيد علماء المستحاثات بها بناءه. فحتى الآن، السؤال الأكثر شيوعاً هو حول الاحترار العالمي، «هل يعطينا القطب المحتر، والأنهر الجليدية المتراجعة صخوراً أكثر؛ لنبحث فيها؟» الإجابة من منظوري هي لا. إن الصخور المكشوفة، التي نعمل عليها اليوم هي تماماً كما كانت عندما مشى عليها أشتون إمبري للمرة الأولى، كجزء من مشروع التخطيط، الذي قام به في السبعينيات من القرن العشرين. رغم أنه هناك العديد من التغيرات الأخرى، وبالتأكيد أكبر هذه التغييرات هو مقدار الحتّ، الذي تم ويتم على المنطقة هذه الأيام. فمع ارتفاع أسعار البترول والغاز والمعادن، أصبح استكشاف القطب الشمالي يتم بخطوات أكثر سرعة مما كان عليه عندما بدأنا. موقع تخييمنا الحالي يعطينا درساً هاماً من هذه الناحية. لقد عدنا إلى موقع كنا زرناه في عام 2000. رؤية المكان أدهشتنا، لقد كانت آثار أقدامنا نحن لا تزال مطبوعة في التندرا القطبية حتى بعد ثمانية أعوام. أمكنني حتى أن أتعرف على آثار جزمتي، أثناء عودتي مرة إلى المخيم في يوليو من عام 2000. لذلك يجب أن نسير بحذر في هذا النظام البيئي الخاص جداً والهش.

كما يطرح الناس أسئلة حول الكيفية التي أمكن للتيكتاليك بها أن يعيش في المناخ القطبي. إذا نظرت خارج حفرة التيكتاليك (المعروفة رسمياً بالرمز NV2K17) يمكن أن ترى منظراً قطبياً كلاسيكياً. الأنهار تصب جلاميد هائلة من ارتفاع أربعة أميال، والثعالب، والذئاب، وثور المسك القطبية جميعا تعيش في الوادي. وبقع الثلج موجودة حتى في أيام الصيف. إنه بارد. ورغم ذلك، فإن العالم، الذي نستشكفه أنا وزملائي، عالم استوائي، بأسماك ونباتات الماء الدافئ. المستحاثات الاستوائية داخل الصخور القطبية قد تعني أحد شيئين: تغير في المناخ العالمي، أو قارات متحركة. وفي هذه الحالة، لدينا الاثنتان: فالمناخ اليوم يختلف كثيراً عما كان عليه قبل 375 مليون سنة مضت، والصخور الموجودة في جزيرة إلزمير اليوم كانت قريبة في الماضي من خط الاستواء.

ومن الأسئلة الأخرى، التي أتعرض لها عادة، هو فيما إذا كانت التيكتاليك هي الحلقة المفقودة. إن علماء المستحاثات يواجهون صعوبات حقيقية فيما يتعلق بهذا المصطلح. إحدى هذه المشاكل، وليس جميعها، هي أن التيكتاليك هو حلقة «وجدناها». ولكن الصعوبة أعمق من ذلك. إنها تساعدنا في فهم الصلات، التي تربط بين الأسماك ذات الزعانف الملتوية، والحيوانات التي تعيش على اليابسة. لدينا الحمض النووي، الذي يشير بوضوح كيف أن الأسماك ذات الزعانف الحلقية قريبة وراثياً جداً من البرمائيات. كما نعرف الآن أن بعض ذلك الحمض النووي يبني الأجسام ونعرف أيضاً كيفية قيامه بذلك. ويتضح أن كثيراً من الوصفات الجينية، التي تبني الزعانف تشبه

تلك التي تبني الأطراف. ثم، هناك سمات تمكننا من مقارنة الأسماك الحية، مع البرمائيات. فالأسماك ذات الزعانف الحلقية كسمك الرنكة، مشابه جداً للبرمائيات حتى أن الكثيرين يخلطون بينها وبين السلمندر. وأخيراً هناك المستحاثات، بقطع كاملة منها بأسماك كتلك التي ناقشناها في هذا الكتاب: كالأيسثينوبتيرون، والبانديريكثيس، والأكانثوستيجا، والإكثيوستيجا، وتلك التي تم وصفها منذ نشر، كالجوجوناسوس (Gogonasus)، والفينتاستيجا (Ventastega) على سبيل الذكر لا الحصر. إن هذه جميعاً أقارب، كأبناء عمومة من درجات مختلفة أكثر منها سلفاً ونسلاً. والسلسلة كلها تظهر ظروفاً وسطية في



19 يوليو 2008، في بيرد فيورد. صورة المؤلف

شكل الرأس، وعظام الأطراف، والأكتاف، والأفخاذ، والتراكيب الأخرى. ومع هذا كله، ليست التيكتاليك هي الحلقة المفقودة، بل هي حلقة من سلسلة من الحلقات، التي تم إيجادها. ولا يزال هناك المزيد مما لم يتم اكتشافه بعد. وهذا سبب عودتنا إلى القطب المتجمد، والسبب وراء تصميمي على العودة إليه دوماً.

جنون بقدر ما يبدو، سأكون حزيناً جداً عندما أودع هذا الوادي وهذه الحفرة في الأرض بعد بضعة أيام. لقد عملنا أنا وتيد وفاريش وجيسون، وفريد، لعقد من الزمان؛ لإيجاد العظام ودراستها في هذه البقعة الصغيرة وحفرنا عبر طبقات متتالية من الطبقات الجيولوجية. وهناك طبقات من التاريخ الشخصي في هذه الصخور أيضاً، تشهد على كل الكدح، والبهجة، والدروس، التي تعلمناها هناك على مر السنين. ولكننا نمضي، على الصخور الأينع ربما- إن كنا محظوظين- لاكتشاف تيكتياليك 2,0، وتيكتاليك 3,0 بعدها، وهكذا. ومع كل اكتشاف لمستحاثة جديدة، نكتشف إجابات لأسئلة قديمة، وتبرز أمامنا تحديات لطرح أسئلة جديدة أكثر دقة. وهذه هي متعة الصيد.

ملاحظات، ومراجع، وقراءات إضافية

الفصل الأول إيجاد السمكة داخلك

– لقد ضمّنت خليطاً من المصادر الأولية، والثانوية للمهتمين في متابعة أكثر لمواضيع الكتاب. فلمن يستخدمون البعثات الاستكشافية للمستحاثات كوسيلة لمناقشة أسئلة رئيسية في علم الأحياء والجيولوجيا، انظر:

- Mike Novacek's *Dinosaurs of the Flaming Cliffs* (New York: Anchor, 1997).
- Andrew Knoll's *Life on a Young Planet* (Princeton: Princeton University Press, 2002).
- John Long's *Swimming in Stone* (Melbourne: Freemantle Press, 2006).

– الجميع يوازن بين التحليل العلمي، وتوصيف الاكتشافات في الحقل. الطرق المقارنة، التي أناقشها– بما فيها الطرق المستخدمة في نزعتنا في حديقة الحيوان– هي طرق تشعيبية (كلادية). في الأساس، أنا أقدم نسخة من عبارة المجموعة التصنيفية الثلاثية، ولنقطة البداية للمقارنات الكلادية. هذا الكتاب ممتاز ويعطي لمحة عنها:

- Henry Gee's *In Search of Deep Time* (New York: Free Press, 1999).

– من المعالجات الجيدة مع مصادر للمعلومات تجده في:

- Richard Forey et al., «The Lungfish, the Coelacanth and the Cow Revisited,» in H.-P. Schultze and L. Trueb, eds., *Origin of the Higher Groups of Tetrapods* (Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1991).

– العلاقة بين السجل الأحفوري و«نزهتنا في حديقة الحيوانات»، تمت

مناقشتها في العديد من الأوراق العلمية، وهذه عينة منها:

- Benton, M. J., and Hitchin, R. (1997) Congruence between phylogenetic and stratigraphic data in the history of life, *Proceedings of the Royal Society of London*, B 264:885–890.
- Norell, M. A., and Novacek, M. J. (1992) Congruence between superpositional and phylogenetic patterns: Comparing cladistic patterns with fossil records, *Cladistics* 8:319–337.
- Wagner, P. J., and Sidor, C. (2000) Age rank/clade rank metrics—sampling, taxonomy, and the meaning of «stratigraphic consistency,» *Systematic Biology* 49:463–479.

– عمود طبقات الصخور والمستحاثات الموجودة فيه، موصوفة مع مناقشة جميلة وشاملة في كتاب:

- Richard Fortey's *Life: A Natural History of the First Four Billion Years of Life on Earth* (New York: Knopf, 1998).

– تتضمن مصادر علم المستحاثات الفقارية:

- R. Carroll, *Vertebrate Paleontology and Evolution* (San Francisco: W. H. Freeman, 1987).
- M. J. Benton, *Vertebrate Paleontology* (London: Blackwell, 2004).

– بالنسبة لأصول رباعيات الأقدام ونشأتها، والكتاب الأفضل في هذا الانتقال هو الثاني؛ لأنه يمكن أن يحول الهاوي إلى خبير بهذا المجال بسرعة:

- Carl Zimmer, *At the Water's Edge* (New York: Free Press, 1998).
- Jenny Clack, *Gaining Ground* (Bloomington: Indiana University Press, 2002).

– أوراقنا الأصلية، التي تصف التيكتاليك نشرت في السادس من أبريل 2006، في مجلة الطبيعة، والمراجع هي:

- Daeschler et al. (2006) A Devonian tetrapod-like fish and the origin

of the tetrapod body plan, *Nature* 757:757–763.
- Shubin et al. (2006) The pectoral fin of *Tiktaalik roseae* and the origin of the tetrapod limb, *Nature* 757:764–771.
- Jenny Clack and Per Ahlberg had a very readable and comprehensive commentary piece in the same issue (*Nature* 757:747–749).

– كل شيء يتعلق بماضينا هو أمر نسبي، حتى بناء هذا الكتاب. كان يمكنني تسمية هذا الكتاب، الإنسان داخلنا، وأكتبه من وجهة نظر سمكة. إن بناء ذلك الكتاب كان ليتسم بالقوة نفسها، التي يتسم بها هذا الآن: التركيز على التاريخ، الذي يشترك به الإنسان، والأسماك في الاجسام والأدمغة والخلايا. وكما رأينا، فإن الأحياء كلها تشترك بجزء عميق من تاريخها مع أجناس أخرى، بينما يكون هناك جزء آخر من التاريخ فريداً.

الفصل الثاني الحصول على قبضة

– لم يكن أوين بأي شكل من الأشكال، الشخص الأول، الذي لاحظ نمط العظمة الواحدة–العظمتين–عضام الرسغ الصغيرة–الأصابع. فقد جعل فيك دي عازير (Vicq-d'Azyr) في القرن السابع عشر، وجيفري سينت هيلاري (Geoffroy St. Hilaire) في عام 1812، ذلك النمط جزءاً من نظرتهم للعالم. إن ما يميز أوين هو مفهومه للطراز الأولي. لقد كان ذلك تنظيماً متسامياً في تنظيم الجسم، يعكس تصميم الخالق. لقد كان سينت هيلاري، يبحث أقل عن النمط الأولي المخفي في كل تركيب، بدلاً من «قوانين التكوين»، التي حكمت تكوين الأجسام. تعالج هذه القضايا بشكل لطيف في:

- T. Appel, *The Cuvier-Geoffroy Debate: French Biology in the Decades Before Darwin* (New York: Oxford University Press, 1987)
- E. S. Russell, *Form and Function: A Contribution to the History of Morphology* (Chicago: University of Chicago Press, 1982).

– عدد جديد قام بتحريره، يعد محطة تسوق واحدة للمعلومات حول تنوع

الأطراف، وتطورها ويحتوي على عدد من الأوراق الضرورية حول الأنواع المختلفة من الأطراف:

- Brian K. Hall, ed., *Fins into Limbs: Evolution, Development, and Transformation* (Chicago: University of Chicago Press, 2007).

– من المراجع المفيدة لاستكشاف الانتقال من الزعانف، والأطراف بتفصيل أكثر تتضمن:

- Shubin et al. (2006) The pectoral fin of *Tiktaalik roseae* and the origin of the tetrapod limb, Nature 757:764–771
- Coates, M. I., Jeffery, J. E., and Ruta, M. (2002) Fins to limbs: what the fossils say, *Evolution and Development* 4:390–412.

الفصل الثالث الجينات المفيدة

– علم الأحياء التطوري لتنوع الأطراف، قد شهد العديد من المراجعات والأوراق الأولية. للحصول على مراجعة للأدب الكلاسيكي انظر:

- Shubin, N., and Alberch, P. (1986) A morphogenetic approach to the origin and basic organization of the tetrapod limb, *Evolutionary Biology* 20:319–387
- Hinchliffe, J. R., and Griffiths, P., «The Pre-chondrogenic Patterns in Tetrapod Limb Develoment and Their Phylogenetic Significance,» in B. Goodwin, N. Holder, and C. Wylie, eds., *Development and Evolution* (Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 1983), pp. 99–121.

– تجارب ساوندر وزويليننغ الآن أصبحت كلاسيكية، لذلك بعض أفضل ما تتناوله يمكن أن تراه الآن في الكتب الدراسية في علم الأحياء التطوري. وتتضمن:

- S. Gilbert, *Developmental Biology*, 8th ed. (Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, 2006)
- L. Wolpert, J. Smith, T. Jessell, F. Lawrence, E. Robertson, and

E. Meyerowitz, *Principles of Development* (Oxford, Eng.: Oxford University Press, 2006).

- للحصول على أول ورقة علمية تصف دور جين القنفذ الخارق في تحديد نمط الأطراف، انظر:

• Riddle, R., Johnson, R. L., Laufer, E., Tabin, C. (1993) *Sonic hedgehog* mediates the polarizing activity of the ZPA, Cell 75:1401–1416.

- عمل راندي على الإشارات الخارقة في زعانف الأسماك والقرش المفلطح موجودة في:

• Dahn, R., Davis, M., Pappano, W., Shubin, N. (2007) *Sonic hedgehog* function in chondrichthyan fins and the evolution of appendage patterning, *Nature* 445:311–314.

- الأعمال التالية من المختبرات حول نشأة الأطراف، على الأقل من منظور وراثي جيني موجودة في:

• Davis, M., Dahn, R., and Shubin, N. (2007) A limb autopodial-like pattern of *Hox* expression in a basal actinopterygian fish, *Nature* 447:473–476.

- أوجه الشبه الجينية المذهلة في تطور الذباب، والدجاج والإنسان تمت مناقشتها في:

• Shubin, N., Tabin, C., Carroll, S. (1997) Fossils, genes, and the evolution of animal limbs, *Nature* 388:639–648.

• Erwin, D. and Davidson, E. H. (2003) The last common bilaterian ancestor, *Development* 129:3021–3032.

الفصل الرابع الأسنان في كل مكان

- أهمية الأسنان في فهم الثدييات واضحة في العديد من المعالجات في الحقل. التركيب السني يلعب دورا هاماً تحديداً، في فهم السجل الأولي للثدييات. هناك مراجعات مكثفة في:

- Z. Kielan-Jaworowska, R. L. Cifelli, and Z. Luo, *Mammals from the Age of Dinosaurs* (New York: Columbia University Press, 2004); and J. A. Lillegraven, Z. Kielan-Jaworowska, and W. Clemens, eds., *Mesozoic Mammals: The First Two-Thirds of Mammalian History* (Berkeley: University of California Press, 1979), p. 311.

– التحليل لثدييات فاريش من أريزونا موجود في:

- Jenkins, F. A., Jr., Crompton, A. W., Downs, W. R. (1983) Mesozoic mammals from Arizona: New evidence on mammalian evolution, *Science* 222:1233–1235.

– الترايهيليدونت، التي وجدناها في نوفا سكوتيا موصوفة في:

- Shubin, N., Crompton, A. W., Sues, H.-D., and Olsen, P. (1991) New fossil evidence on the sister-group of mammals and early Mesozoic faunal distributions, *Science* 251:1063–1065.

– من المراجعات الحديثة حول أصول الأسنان، والعظام، والجمجمة، وبشكل خاص النشوء الحديث، الذي تم التوصل إليه من حيوانات الكونودونت هي:

- Donoghue, P., and Sansom I. (2002) Origin and early evolution of vertebrate skeletonization, *Microscopy Research and Technique* 59:352–372.

– من المراجعات الوافية للعلاقات النشوئية بين الكونودونت وأهميتها:

- Donoghue, P., Forey, P., and Aldridge, R. (2000) Conodont affinity and chordate phylogeny, *Biological Reviews* 75:191–251.

الفصل الخامس الحصول على الرأس

– تناول شامل ومفصل رائع لتفاصيل تركيب الجمجمة، وتطورها ونشوئها في مجموعة مكونة من ثلاثة مجلدات:

- *The Skull*, James Hanken and Brian Hall, eds. (Chicago: University of Chicago Press, 1993).

- هذه تحديث من عدة مؤلفين للمجلدات الكلاسيكية حول تطور وتركيب الرأس:

- G. R. de Beer, *The Development of the Vertebrate Skull* (Oxford, Eng.: Oxford University Press, 1937).

- تفاصيل تطور الرأس وتركيبه في الإنسان، يمكن أن تجدها في النصوص حول تشريح الإنسان وعلم الأجنة. للحصول على مرجع في علم الأجنة انظر:

- K. Moore and T.V.N. Persaud, *The Developing Human*, 7th ed. (Philadelphia: Elsevier, 2006).

- الكتاب التدريسي المرافق في التشريح هو:

- K. Moore and A. F. Dalley, *Clinically Oriented Anatomy* (Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2006).

- الأعمال الأساسية لفرانسيس ميتلاند بالفور موجودة في:

- Balfour, F. M. (1874) A preliminary account of the development of the elasmobranch fishes, *Q. J. Microsc. Sci.* 14:323–364.
- F. M. Balfour, *A Monograph on the Development of Elasmobranch Fishes*, 4 vols. (London: Macmillan & Co., 1878).
- F. M. Balfour, *A Treatise on Comparative Embryology*, 2 vols. (London: Macmillan & Co., 1880–81). M. Foster and A. Sedgwick, *The Works of Francis Maitland Balfour*, with an introductory biographical notice by Michael Foster, 4 vols. (London: Macmillan & Co., 1885).

- قام أحد العلماء التالين لإدوين غودريتش في أوكسفورد، بإنتاج أحد الكلاسيكات للتشريح المقارن:

- Edwin Goodrich, *Studies on the Structure and Development of Vertebrates* (London: Macmillan, 1930).

- بالفور، أوكين، جوته، هوكسلي.وآخرون كانوا يتناولون المشكلة المعروفة بتقسيم الرأس. تماماً كاختلاف الفقرات من الأمام للخلف، للرأس نمط

تجزيئي أيضاً. هذه مجموعة من المصادر الكلاسيكية والحديثة (وجميعها بها مراجع جيدة) لمتابعة هذا الموضوع أكثر:

- Olsson, L., Ericsson, R., Cerny, R. (2005) Vertebrate head development: Segmentation, novelties, and homology, *Theory in Biosciences* 124:145–163.
- Jollie, M. (1977) Segmentation of the vertebrate head, *American Zoologist* 17:323–333.
- Graham, A. (2001) The development and evolution of the pharyngeal arches, *Journal of Anatomy* 199:133–141.

– هناك مراجعة حديثة حول الأساس الجيني لتكوين القوس الخيشومية في:

- Kuratani, S. (2004) Evolution of the vertebrate jaw: comparative embryology and molecular developmental biology reveal the factors behind evolutionary novelty, *Journal of Anatomy* 205:335–347.

– من الأمثلة على التلاعب التجريبي بأحد الأقواس الخيشومية في أخرى، باستخدام التقنيات الجينية:

- Baltzinger, M., Ori, M., Pasqualetti, M., Nardi, I., Riji, F. (2005) *Hoxa2* knockdown in *Xenopus* results in hyoid to mandibular homeosis, *Developmental Dynamics* 234:858–867
- Depew, M., Lufkin, T., Rubenstein, J. (2002) Specification of jaw subdivisions by *Dlx genes, Science* 298:381–385.

– مصدر شامل مع الرسوم التوضيحية الجيدة، التي تقدم كثيراً من المعلومات حول السجلات الأحفورية الأولى للجماجم، والرؤوس، والأسماك البدائية تمت مراجعتها في:

- P. Janvier, *Early Vertebrates* (Oxford, Eng.: Oxford University Press, 1996).

– الورقة التي تصف خياشيم الهيكويلا، التي يبلغ عمرها 530 مليون سنة هي:

- Chen, J.-Y., Huang, D. Y., and Li, C. W. (1999) An early Cambrian craniate-like chordate, *Nature* 402:518–522.

الفصل السادس: أفضل المخططات الجسدية

- نشوء مخططات الأجساد كانت موضوع العديد من المعالجات، التي تصل حد الكتب. أحدها من ذوات المنهج والمراجع الاستثنائية:

- J. Valentine, *On the Origin of Phyla* (Chicago: University of Chicago Press, 2004).

- هناك العديد من السير حول فون بيير. هذه واحدة قصيرة:

- Jane Oppenheimer, «Baer, Karl Ernst von,» in C. Gillespie, ed., *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 1 (New York: Scribners, 1970).

- للمعالجات الأكثر تفصيلاً، انظر:

- *Autobiography of Dr. Karl Ernst von Baer*, ed. Jane Oppenheimer (1986; originally published in German, 2nd ed., 1886).

- انظر هذه المراجع، التي تحتوي على العديد من الأعمال أيضاً:

- B. E. Raikov, *Karl Ernst von Baer, 1792–1876*, trans. from Russian (1968).
- Ludwig Stieda, *Karl Ernst von Baer*, 2nd ed. (1886).

- انظر للحصول على مناقشة لقوانين فون بيير أيضاً:

- S. Gould, *Ontogeny and Phylogeny* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1977),

- تمت مناقشة تجارب سبيمان، ومانغولد في كتب علم الأجنة الدراسية:

- S. Gilbert, *Developmental Biology*, 8th ed. (Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, 2006).

- هناك منظور حديث حول «المنظم» في:

- De Robertis, E. M. (2006) Spemann's organizer and self regulation in amphibian embryos, *Nature Reviews* 7:296–302

- De Robertis, E. M., and Arecheaga, J. The Spemann Organizer: 75 years on, *International Journal of Developmental Biology* 45 (special issue).

– للوصول إلى أدب ضخم حول جينات هوكس والنشوء، أفضل مرجع بدايةً هو:

- Sean Carroll's recent book *Endless Forms Most Beautiful* (New York: Norton, 2004).

– من المراجعات الحديثة للكيفية، التي تجعلنا بها الجينات، نفهم السلف المشترك للحيوانات المتشابهة الطرفين:

- Erwin, D., and Davidson, E. H. (2002) The last common bilaterian ancestor, *Development* 129:3021–3032.

– العَديد من الباحثين قد جادلوا أن هناك نقلة جينية بين المخططات الجسدية في الإنسان القديم، ومخطط البشر، التي حدثت في وقت ما من الماضي البعيد. تمت مناقشة هذه الفكرة في:

- De Robertis, E., and Sasai, Y. (1996) A common plan for dorsoventral patterning in Bilateria, *Nature* 380:37–40.

– وجهات النظر التاريخية حول نظرات سينت هيلاري، بالإضافة إلى التناقضات الأخرى في السنوات الأولى من التشريح المقارن موجودة في:

- T. Appel, *The Cuvier-Geoffroy Debate: French Biology in the Decades Before Darwin* (New York: Oxford University Press, 1987).

– البيانات من ديدان البلوط لا تناسب هذا النموذج، وتقترح في بعضها أنه في مرحلة ما، قد تكون نشأت العلاقة بين نشاط الجينات وتحديد المحور. للرجوع إلى هذا العمل انظر:

- Lowe, C. J., et al. (2006) Dorsoventral patterning in hemichordates: insights into early chordate evolution, *PLoS Biology online access*: http://dx.doi.org/journal.oo40291.

– جينات التطور، التي تحدد محاور الجسد تمت مراجعتها في:

- Martindale, M. Q. (2005) The evolution of metazoan axial properties, *Nature Reviews Genetics* 6:917–927.

- جينات مخطط الجسد في اللواسع (قنديل البحر، شقائق البحر، وأقربائها) تمت مناقشتها في سلسلة من الأوراق:

- Martindale, M. Q., Finnerty, J. R., Henry, J. (2002) The Radiata and the evolutionary origins of the bilaterian body plan, Molecular *Phylogenetics and Evolution* 24:358–365.
- Matus, D. Q., Pang, K., Marlow, H., Dunn, C., Thomsen, G., Martindale, M. (2006) Molecular evidence for deep evolutionary roots of bilaterality in animal development, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103:11195–11200.
- Chourrout, D., et al. (2006) Minimal protohox cluster inferred from bilaterian and cnidarian Hox complements, *Nature* 442:684–687.
- Martindale, M., Pang, K., Finnerty, J. (2004) Investigating the origins of triploblasty: «mesodermal» gene expression in a diploblastic animal, the sea anemone *Nemostella vectensis* (phylum, Cnidaria; class, Anthozoa), *Development* 131:2463–2474.
- Finnerty, J., Pang, K., Burton, P., Paulson, D., Martindale, M. Q. (2004) Deep origins for bilateral symmetry: *Hox* and *Dpp* expression in a sea anemone, *Science* 304:1335–1337.

الفصل السابع مغامرات في بناء الأجسام

- هذه المقالات الأساسية الثلاث تقدم مراجعة لأصول الأجسام ونشوئها، وتقدم منظوراً تكاملياً لعلم الجينات والجيولوجيا والبيئة. الأوراق الثلاث ذات مراجع كافية، وتقدم بشكل جيد للمواضيع، التي تم تناولها في هذا الفصل.

- King, N. (2004) The unicellular ancestry of animal development,

Developmental Cell 7:313–325.

- Knoll, A. H., and Carroll, S. B. (1999) Early animal evolution: Emerging views from comparative biology and geology, *Science* 284:2129–2137
- Brooke, N. M., and Holland, P. (2003) The evolution of multicellularity and early animal genomes, *Current Opinion in Genetics and Development* 13:599–603.

– لتحفيز المعالجات لنتائج نشوء الأجسام، والأشكال الأخرى من التنظيم الحيوي، انظر:

- L. W. Buss, *The Evolution of Individuality* (Princeton: Princeton University Press, 2006)
- J. Maynard Smith, and E. Szathmary, The Major *Transitions in Evolution* (New York: Oxford University Press, 1998).

– هذه الكتب تغطي قصة الحيوانات الإديكاريدية مع المراجع:

- Richard Fortey's Life: *A Natural History of the First Four Billion Years of Life on Earth* (New York: Knopf, 1998)
- Andrew Knoll's *Life on a Young Planet* (Princeton: Princeton University Press, 2002).

– التجربة، التي أنتجت «الأجسام الأولية»، من «لا أجسام» موصوفة في:

- Boraas, M. E., Seale, D. B., Boxhorn, J. (1998) Phagotrophy by a flagellate selects for colonial prey: A possible origin of multicellularity, *Evolutionary Ecology* 12:153–164.

الفصل الثامن: صناعة الروائح

– جامعة أوتاه لديها موقع فعال على الإنترنت، تعلم الوراثة، يوفر بشكل رائع بروتوكولاً مطبخياً بسيطاً؛ لاستخلاص الحمض النووي، عنوان الموقع هو:

- http://learn.genetics.utah.edu/units/activities/extraction/.

– تطور ما يسمى بالجينات القديمة– أو لنكون أدق– جينات مستقبلات الشم، قد غطي بالعديد من الأعمال السابقة. ورقة باك وآكسل الأساسية هي:

• Buck, L., and Axel, R. (1991) A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition, *Cell* 65:175–181.

– تمت معالجة الجوانب المقارنة لنشوء جين الشم في:

• Young, B., and Trask, B. J. (2002) The sense of smell: genomics of vertebrate odorant receptors, *Human Molecular Genetics* 11:1153–1160

• Mombaerts, P. (1999) Molecular biology of odorant receptors in vertebrates, *Annual Reviews of Neuroscience* 22:487–509.

– تمت مناقشة جينات مستقبلات الشم في الأسماك عديمة الفك في:

• Freitag, J., Beck, A., Ludwig, G., von Buchholtz, L., Breer, H. (1999) On the origin of the olfactory receptor family: receptor genes of the jawless fish (*Lampetra fluviatilis*), Gene 226:165–174.

– هذه الورقة تصف الفرق بين جينات مستقبلات الشم المائية، والبرية:

• Freitag, J., Ludwig, G., Andreini, I., Rossler, P., Breer, H. (1998) Olfactory receptors in aquatic and terrestrial vertebrates, *Journal of Comparative Physiology A* 183:635–650.

– تمت مناقشة نشوء مستقبلات الشم لدى الإنسان في العديد من الأوراق العلمية، هذه مجموعة تعكس القضايا، التي تمت مناقشتها في النص:

• Gilad, Y., Man, O., Lancet, D. (2003) Human specific loss of olfactory receptor genes, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100:3324–3327.

• Gilad, Y., Man, O., and Glusman, G. (2005) A comparison of the human and chimpanzee olfactory receptor gene repertoires,

Genome Research 15:224–230.

- Menashe, I., Man, O., Lancet, D., Gilad, Y. (2003) Different noses for different people, *Nature Genetics* 34:143–144.
- Gilad, Y., Wiebe, V., Przeworski, M., Lancet, D., Paabo, S. (2003) Loss of olfactory receptor genes coincides with the acquisition of full trichromatic vision in primates, *PLoS Biology online access*: http://dx.doi.org/journal.pbio.0020005.

– فكرة تضاعف الجينات بوصفها مصدراً هاماً، للتنوع الوراثي الجديد تمتد رجوعاً للأعمال الأولى لأوهنو قبل زهاء أربعين عاماً:

- S. Ohno, *Evolution by Gene Duplication* (New York: Springer-Verlag, 1970).

– مراجعة حديثة حول القضايا، التي تتضمن نقاشاً، حول كل من الأوبسينات وجينات المستقبلات الشمية في:

- Taylor, J., and Raes, J. (2004) Duplication and divergence: the evolution of new genes and old ideas, *Annual Reviews of Genetics* 38:615–643.

الفصل التاسع: الرؤية

– تم وصف جينات الأوبسين ودورها في نشوء الأعين في عدد من الأوراق في السنوات الأخيرة الماضية. مراجعات أساسيات علم الأحياء، ونتائج نشوء جين الأوبسين تتضمن:

- Nathans, J. (1999) The evolution and physiology of human color vision: insights from molecular genetic studies of visual pigments, *Neuron* 24:299–312.
- Dominy, N., Svenning, J. C., Li, W. H. (2003) Historical contingency in the evolution of primate color vision, *Journal of Human Evolution* 44:25–45.
- Tan, Y., Yoder, A., Yamashita, N., Li, W. H. (2005) Evidence from

opsin genes rejects nocturnality in ancestral primates, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102:14712–14716.

- Yokoyama, S. (1996) Molecular evolution of retinal and nonretinal opsins, *Genes to Cells* 1:787–794.
- Dulai, K., von Dornum, M., Mollon, J., Hunt, D. M. (1999) The evolution of trichromatic color vision by opsin gene duplication in New World and Old World primates, *Genome* 9:629–638.

– تم وصف عمل ديتليف أريندت وجوشيم ويدبرودت، على أنسجة المستقبلات الضوئية في ورقة من الأعمال الهامة:

- Arendt, D., Tessmar Raible, K., Synman, H., Dorresteijn, A., Wittbrodt, J. (2004) Ciliary photoreceptors with a vertebrate-type opsin in an invertebrate brain, *Science* 306:869–871.

– ويظهر تعليق ملحق مع المقالة:

- Pennisi, E. (2004) Worm's lightsensing proteins suggest eye's single origin, *Science* 306:796–797.

– مراجعة سابقة لأريندت توفر الإطار النظري الأكبر، الذي يستخدمه لتفسير الاكتشاف:

- Arendt, D. (2003) The evolution of eyes and photoreceptor cell types, *International Journal of Developmental Biology* 47:563–571.

– يمكن إيجاد مزيداً من التعليقات في:

- Plachetzki, D. C., Serb, J. M., Oakley, T. H. (2005) New insights into photoreceptor evolution, *Trends in Ecology and Evolution* 20:465–467.

– مزيداً من التعليقات على أعمال أريندت وويتبرودت من قبل بيرند فريتزتش وجورام بياتيغورسكي، ظهرت في العدد الأخير من مجلة (Science)، مع تعليق–رد ناقش فكرة أن أصل الأعين قد يكون قديماً جداً، وترجع جذوره إلى فرع عميق جداً من شجرة تطورنا. يمكن إيجاد هذا

النص في:

- *Science* (2005) 308:1113–1114.

– مراجعة لأعمال غيهرنغ على باكس 6، ونتائجه لتطور العين تظهر في مقالة له:

- Gehring, W. (2005) New perspectives on eye development and the evolution of eyes and photoreceptors, *Journal of Heredity* 96:171–184.

– تتضمن الأوراق العلمية، التي تتناول العلاقات المحتملة المختلفة بين جينات تركيب العين المحفوظة ونشوء أعضاء العين:

- Oakley, T. (2003) The eye as a replicating and diverging modular developmental unit, *Trends in Ecology and Evolution* 18:623–627.
- Nilsson D.-E. (2004) Eye evolution: a question of genetic promiscuity, *Current Opinion in Neurobiology* 14:407–414.

– مناقشة العلاقة بين بروتينات العدسة في أعيننا، وتلك الموجودة في قرب البحر تمت مناقشتها في:

- Shimeld, S., Purkiss, A. G., Dirks, R.P.H., Bateman, O., Slingsby, C., Lubsen, N. (2005) Urochordate by-crystallin and the evolutionary origin of the vertebrate eye lens, *Current Biology* 15:1684–1689.

الفصل العاشر الآذان

– تجد مناقشة نشوء الأذن الداخلية في:

- Beisel, K. W., and Fritzsch, B. (2004) Keeping sensory cells and evolving neurons to connect them to the brain: molecular conservation and novelties in vertebrate ear development, *Brain Behavior and Evolution* 64:182–197.

– تطور الأذن والجينات وراء ذلك تمت مناقشتها في:

- Represa, J., Frenz, D. A., Van de Water, T. (2000) Genetic patterning

of embryonic ear development, *Acta Otolaryngolica* 120:5–10.

– مراجعة لتحور العظمة المحدبة إلى الركاب، تمت مناقشتها في معالجات وصل حجم الكتب طولاً، لتطور الأسماك البدائية أو أصل الحيوانات، التي تعيش على البر:

- J. Clack, *Gaining Ground* (Bloomington: Indiana University Press, 2002); P. Janvier, *Early Vertebrates* (Oxford, Eng.: Oxford University Press, 1996).

– كما تمت مناقشتها أيضاً في أوراق علمية حديثة، تتضمن:

- Clack, J.A. (1989) Discovery of the earliest known tetrapod stapes, *Nature* 342:425–427.
- Brazeau, M., and Ahlberg, P. (2005) Tetrapod-like middle ear architecture in a Devonian fish, *Nature* 439:318–321.

– تمت مناقشة منشأ الأذن الوسطى لدى الثدييات من منظور تاريخي علمي في:

- P. Bowler, *Life's Spendid Journey* (Chicago: University of Chicago Press, 1996).

– المصادر الرئيسية الأساسية تتضمن:

- Reichert, C. (1837) Uber die Visceralbogen der Wirbeltiere im allgemeinen und deren Metamorphosen bei den Vogeln und Saugetieren, *Arch. Anat. Physiol. Wiss. Med.* 1837:120–222.
- Gaupp, E. (1911) Beiträge zur Kenntnis des Unterkiefers der Wirbeltiere I. Der Processus anterior (Folii) des Hammers der Sauger und das Goniale der Nichtsuger, *Anatomischer Anzeiger* 39:97–135.
- Gaupp, E. (1911) Beiträge zur Kenntnis des Unterkiefers der Wirbeltiere II. Die Zusammensetzung des Unterkiefers der Quadrupeden, *Anatomischer Anzeiger*, 39:433–473.
- Gaupp, E. (1911) Beiträge zur Kenntnis des Unterkiefers der

Wirbeltiere III. Das Probleme der Entstehung eines «sekundären» Kiefergelenkes bei den Säugern, *Anatomischer Anzeiger*, 39:609–666.

- Gregory, W. K. (1913) Critique of recent work on the morphology of the vertebrate skull, especially in relation to the origin of mammals, *Journal of Morphology* 24:1–42.

– من الأدب السابق الرئيسي حول أصل فك الثدييات، والمضغ والأذن الوسطى ثلاثية العظيمات لديها:

- Crompton, A. W. (1963) The evolution of the mammalian jaw, *Evolution* 17:431–439.
- Crompton, A. W., and Parker, P. (1978) Evolution of the mammalian masticatory apparatus, *American Scientist* 66:192–201.
- Hopson, J. (1966) The origin of the mammalian middle ear, *American Zoologist* 6:437–450.
- Allin, E. (1975) Evolution of the mammalian ear, *Journal of Morphology* 147:403–438.

– الأصل النشوئي لجينات باكس 2، وباكس 6 والصلة النشوئية بين الأذنين والعينين لأسماك قنديل البحر الصندوقية، تمت مناقشتها في:

- Piatigorsky, J., and Kozmik, Z. (2004) Cubozoan jellyfish: an evo/devo model for eyes and other sensory systems, *International Journal for Developmental Biology* 48:719–729.

– الصلات بين جزيئات المستقبل الحسي بالجزيئات الأخرى في البكتيريا تمت مناقشتها في:

- Kung, C. (2005) A possible unifying principle for mechanosensation, *Nature* 436:647–654.

الفصل الحادي عشر معنى هذا كله

– طرق التصنيفات الجينية تمت مناقشتها في عدد من المصادر. يتضمن الأدب

الأساسي لهذه الطرق:

- Willi Hennig, published originally in German (*Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik* [Berlin: Deutscher Zentralverlag, 1950])

– وقد تمت ترجمته إلى الإنجليزية قبل أكثر من عقد من الزمن:

- (*Phylogenetic Systematics*, trans. D. D. Davis and R. Zangerl [Urbana: University of Illinois Press, 1966]).

– تمت مناقشة الطرق؛ لإعادة تركيب التصنيف متعدد الجينات، التي تشكل أساساً لهذا الفصل، مفصلاً في:

- P. Forey, ed., *Cladistics: A Practical Course in Systematics* (Oxford, Eng.: Clarendon Press, 1992).
- D. Hillis, C. Moritz, and B. Mable, eds., *Molecular Systematics* (Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, 1996).
- R. DeSalle, G. Girbet, and W. Wheeler, *Molecular Systematics and Evolution*: Theory and Practice (Basel: Birkhauser Verlag, 2002).

– نجد معالجة شاملة لظاهرة النشوء المستقل للسمات المتشابهة في:

- M. Sanderson and L. Hufford, *Homoplasy: The Recurrence of Similarity in Evolution* (San Diego: Academic Press, 1996).

– لرؤية شجرة الحياة والفرضيات المختلفة للعلاقات بين الكائنات الحية، زر الموقع التالي:

- http://tolweb.org/tree/

– فكرة أن تاريخنا النشوئي له تطبيقات طبية، كانت موضوع العديد من الكتب الجيدة الحديثة. للحصول على مرجع شامل وذي مراجع جيدة، انظر:

- N. Boaz, *Evolving Health: The Origins of Illness and How the Modern World Is Making Us Sick* (New York: Wiley, 2002).
- D. Mindell, *The Evolving World: Evolution in Everyday Life* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2006).

• R. M. Nesse and G. C. Williams, *Why We Get Sick: The New Science of Darwinian Medicine* (New York: Vintage, 1996).
• W. R. Trevathan, E. O. Smith, and J. J. McKenna, *Evolutionary Medicine* (New York: Oxford University Press, 1999).

– قمت باشتقاق مثال انقطاع النفس أثناء النوم، من نقاشات مع نينو راميريز (Nino Ramirez)، رئيس قسم التشريح في جامعة شيكاغو. ومثال الفواق مشتق من:

• Straus, C., et al. (2003) A phylogenetic hypothesis for the origin of hiccoughs, *Bioessays* 25:182–188.

– مفتاح الجين البشري–البكتيري المستخدم في دراسة اعتلال الدماغ، وعضلة القلب تمت مناقشته أصلاً في:

• Lucioli, S., et al. (2006) Introducing a novel human mtDNA mutation into the *Paracoccus denitriticans* COX 1 gene explains functional deficits in a patient, *Neurogenetics* 7:51–57.

مصادر على الإنترنت:

هناك عدد من المواقع والمدونات الإلكترونية، تحمل معلومات دقيقة ويتم تحديثها بشكل متكرر.

• http://www.ucmp.berkeley.edu/

أنتج هذا الموقع من قبل متحف المستحاثات في جامعة كاليفورنيا – بيركلي، وهذا واحد من أفضل المصادر على الإنترنت المتعلقة بالمستحاثات والتطور. ويتم تحديثه وإعادة صياغته بشكل مستمر.

• http://www.scienceblogs.com/loom/

هذه مدونة كارل زيمر، مصدر معلومات ونقاش حول النشوء مكتوب بشكل جيد، ومحدث ومليء بالأفكار.

• http://www.scienceblogs.com/pharyngula/

ب. ز. مايرز، أستاذ علوم الأحياء التطورية، يكتب هذه المدونة العصرية، التي تزود القارئ بالمعلومات، ويمكن الوصول إليها بسهولة. هذا مصدر

غني بالمعلومات، ويستحق المتابعة.

• http://www.scienceblogs.com

مدونتا كل من زيمر وماير موجودتان في موقع يحتوي على عدد من المدونات الأخرى أيضاً، التي تستحق المتابعة للمعلومات والتعليقات على الاكتشافات الحديثة. المدونات المتصلة بموضوع هذا الكتاب في ذلك الموقع تتضمن Afarensis, Tetrapod Zoology, Evolving Thoughts، و Gene Expression

• http://www.tolweb.org/tree/

مشروع شجرة الحياة (The Tree of Life Project)، يقدم معالجات رسمية يتم تحديثها دورياً للعلاقات بين مجموعات الكائنات الحية جميعها. كصفحة UCMP على موقع بيركلي، وتحتوي أيضاً على مصادر للتعلم حول كيفية عمل الأشجار النشوئية وتفسيرها.

شكر

الرسوم التوضيحية جميعها، عدا ما ذكر، من الآنسة كاليوبي مونويويس (Ms. Kalliopi Monoyios) (www.kalliopimonoyios.com)، قرأت كابي نسخ مسودة الكتاب، ولم تقم بتحسين النص فحسب، وإنما صممت الرسوم، التي تطابقها أيضاً. لقد كنت محظوظاً حقاً بالعمل مع شخص لديه ذلك الكم من المواهب. وتكرّم سكوت رولينز (Scott Rawlins) من جامعة أركاديا (Arcadia University).بمنح الإذن، لاستخدام تصويره الراقي للسورييروس في الفصل الثاني. وقدم تيد ديستشلر من أكاديمية العلوم الطبيعية في فيلادلفيا لنا بسخاء صوره الممتازة لعينة التيكتاليك العظيمة ج. أتوجه بالشكر لفيليب دونوه من جامعة بريستول، ومارك بيرنيل من جامعة ليستر؛ لسماحهما لنا باستخدام تصويرهما لمصفوفة أسنان الكونودونت، وشركة ماك غرو هيل؛ للسماح باستخدام شكل الكتاب، الذي بدأنا به رحلة الصيد عن التيكتاليك، وستيفين كامبانا من مختبر أبحاث القرش الكندي؛ لتزويدنا بصور أعضاء القرش.

أحد أكبر الديون في رقبة طلاب التشريح، للأناس الذين يتبرعون باجسامهم، حتى يتمكن هؤلاء من التعلم. فمن الميزات النادرة التعلم من جسد حقيقي. وبالجلوس لساعات طويلة في المختبر، يشعر المرء

بصلة واضحة بالمتبرعين، الذين يجعلون من هذه التجربة أمراً ممكناً. لقد شعرت بتلك الصلة ثانية بينما كنت أخط أسطر هذا الكتاب.

الأفكار، التي أقدمها هنا متأصلة في البحث، الذي كنت أجريه وفي الصفوف، التي كنت أدرسها. الزملاء والطلاب كثيرون جداً حتى إنه ليصعب عليّ ذكرهم هنا - طلاب المرحلة الجامعية الأولى، وطلاب الطب، وطلاب الدراسات العليا - قد أدّوا دوراً في الفكر المسطّر بهذه الصفحات.

إنني ممتن جداً للزملاء، الذين عملت معهم على مر السنين. تيد ديستشلر، وفاريش أ. جينكنز، جي آر. فريد موليسون، باول أولسن، ويليام أمارال، جاسون داونز، وتشاك تشاف فجميعهم كانوا جزءاً من القصص، التي أسردها هنا. دون هؤلاء الأشخاص، لم أكن لأمتلك ذلك المخزون من الخبرات، التي أستسقي منها، ولم أكن لأتمكن من الاستمتاع كثيراً طيلة الدرب. أعضاء مختبري في جامعة شيكاغو - راندال داهن، ماركوس ديفيس، آدم فرانسين، أندرو جيليس، كريستيان كاميرير، كاليوبي مونويويس، وبيكي شيرمان - جميعهم قد أثروا في فكري، وتحملوا بعدي عن طاولة العمل بينما كنت أكتب.

الزملاء، الذين قدموا وقتهم؛ لتوفير خلفية ضرورية أو ملاحظات على هذا الكتاب، هم: أهلواليا، وسين كارول، ومايكل كوتس، وراندال داهن، وماركوس ديفيس، وآنا ديرينزو، وأندرو جيليس، ولانس جراند، وإليزابيث غروف، ونيكولاس هاتسوباولوس، وروبرت هو، وبيتي كاتساروس، ومايكيل لاباربيرا، وكريس لوي،

ودانييل مارغولياش، وكاليوبي مونويويس، وجوناثان بريتشارد، وفيكي برنس، وكليف راغسديل، ونينو راميرز، وكالوم روس، وآفي ستوبر، وكليف تابين، وجون زيلير. وقدم لي هيثم أبو زيد العديد من الامور الإدارية. كان مدرسيّ في التشريح في برنامج هارفارد ومعهد ماساتشوستس للعلوم الصحية والتكنولوجيا، فاريش جينكينز، جي آر، ولي غيرك، هم مَن قد أثار لدي شغفاً دام لأكثر من عشرين سنة.

النصائح الرئيسية في مستهل المشروع، والإلهام خلاله، جاء من سين كارول، وكارل زيمر. لقد قدمت مكتبة ويلفيت العامة (ويلفيت ماساتشوستس) منزلاً مريحاً، والعديد من المتع الضرورية جداً، حيث كتبت جزءاً كبيراً من الكتاب. وقدر بسيط في الأكاديمية الأمريكية في برلين، وضعتني في بيئة كانت حرجة عندما كنت أكمل كتابة الكتاب.

رئيسي الدكتور جيمس مادارا– مدير تنفيذي– في المركز الطبي في جامعة شيكاغو، ونائب الرئيس للشؤون الطبية، العميد، وأستاذ سارا وهارولد ثومبسون للخدمة التمتيزة في شعبة العلوم الحيوية، وفي كلية الطب في بريتزكر، وجون مكارتر، جي آر (مدير تنفيذي، المتحف الحقلي)، دعما هذا المشروع والبحث، الذي كان وراءه. لقد كانت سعادة حقيقية بالنسبة لي أن عملت مع مثل هؤلاء القادة المتعاطفين، الذين يثيرون الإلهام.

لقد كنت محظوظاً أن أدرس في جامعة شيكاغو وأن يكون لدي الفرصة للتفاعل مع قادة كلية الطب في بريتزكر هناك. العميدتين، هولي

همفري، وهالينا بروكنر، رحبتا بسخاء بعالم مستحاثات؛ ليكون ضمن فريقهما. من خلال التفاعل معهما أصبحت أقدر التحديات وأهمية التعليم الطبي الأساسي.

لقد سرّني جداً أن أنتسب للمتحف الحقلي في شيكاغو، حيث أتيحت لي فرصة العمل مع مجموعة متميزة من الأشخاص، الذين كرسوا أنفسهم؛ للاكتشاف العلمي، والتطبيق والإرشاد. من هؤلاء الزملاء إليزابيث بابكوك، وجوزيف بيرنان، وشيلا كاولي، وجيم كروفت، ولانس غراند، وميليسا هيلتون، وإد هورنر، وديبرا موسكوفيتس، ولورا سادلر، وسين فانديرزيل، وديان وايت. كما أعبر عن امتناني العميق؛ للدعم والإرشاد والتشجيع، الذي تلقيته من قادة لجنة العلوم في مجلس الأمناء في المتحف الحقلي، جيمس ألكسندر، واديلي س. سيمونز.

أنا ممتن جداً لوكيلتي كاتينكا ماتسون؛ لمساعدتها لي في تحويل فكرة المشروع إلى بحث، ولتقديم النصح خلال هذه العملية. أشعر بالامتياز؛ لأنني عملت مع مارتي آشر، محرري. لقد قدم لي مزيجاً مغذياً من النصح والوقت والتشجيع معلماً صبوراً ليساعدني في إيجاد طريقي. ساهم زكاري واغمان في هذا المشروع بأشكال لا تحصى بتفريغ نفسه، وبعينه التحريرية المستعدة للعمل، واستشاراته الجيدة. وقدم دان فرانك اقتراحات تثير الإلهام حفزتني؛ للتفكير بهذه القصة بطرق جديدة. قامت جوانتا بينال بنسخ النص وتحريره، وحسنت من طريقة عرضه إلى أقصى حد. أنا ممتن جداً لإلين فيلدمان، وكرستين بيرس، وفريق

الإنتاج لعملهم الشاق تحت ظروف الجدول الزمني الضيق.

والديّ، غلوريا وسيمور شوبين، عرفا دائماً أنني سأكتب كتاباً، حتى قبل أن أفعل. لولا إيمانهما بي، أشك أنني كنت سأخط كلمة واحدة على الورق أبداً. عاشت زوجتي ميشيل سيدل، وأطفالي، ناثانيال وهانا، مع السمك – التيكتاليك وهذا الكتاب – طيلة سنتين كاملتين. كانت ميشيل تقرأ وتعلق على كل نسخة من هذا الكتاب، ودعمت غيابي عن المنزل طيلة عطل نهاية الأسبوع، التي قضيتها وأنا أكتب. إن صبرها وحبها هما ما جعلا من هذا الأمر واقعاً.

السمكة داخلك

عظام الأسماك القديمة يمكن أن تشكل طريقاً لمعرفة ما نحن عليه، وكيف أصبحنا بهذا الشكل. إننا نتعلم أشياء عن أجسامنا في مواقع غريبة حقاً، من أحافير الديدان والأسماك التي يعثر عليها في أنحاء العالم، إلى الحمض النووي الموجود في كل حيوان حي على سطح البسيطة في هذا الزمان.
هل فعلاً توفّر بقايا هيكل عظمي من الماضي -وبقايا سمكة فحسب- قرائن حول أساس تركيب أجسامنا؟
هذا ما يوضحه الكتاب.

المعارف العامة
الفلسفة وعلم النفس
الديانات
العلوم الاجتماعية
اللغات
العلوم الطبيعية والدقيقة / التطبيقية
الفنون والألعاب الرياضية
الأدب
التاريخ والجغرافيا وكتب السيرة





